

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**USO DE INDICADORES DE DESEMPENHO COMO AUXÍLIO
NOS ESTUDOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Sheila Karoline Kusterko

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
JULHO/2009**

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**USO DE INDICADORES DE DESEMPENHO COMO AUXÍLIO
NOS ESTUDOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Sheila Karoline Kusterko

**Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para Conclusão
do Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental**

**Orientador
Prof. Dr. Peter Batista Cheung**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
JULHO/2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**USO DE INDICADORES DE DESEMPENHO COMO AUXÍLIO NOS
ESTUDOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

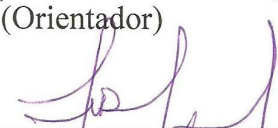
SHEILA KAROLINE KUSTERKO

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para
Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental –
TCC II**

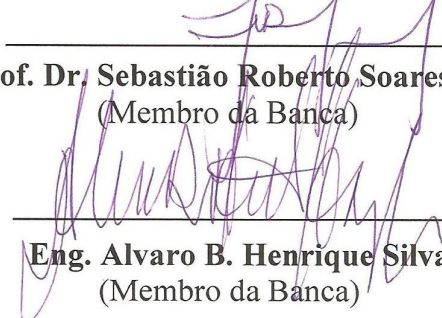
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Peter Batista Cheung
(Orientador)



Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares
(Membro da Banca)



Eng. Alvaro B. Henrique Silva
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
JULHO/2009**

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Prof. Peter B. Cheung pelo apoio e confiança.

Aos colegas do Laboratório RESAN principalmente ao Felipe, Bruno e Guilherme, pela amizade e grande ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários do SIMAE Capinzal/Ouro pela colaboração e disponibilização dos dados.

À minha família que, mesmo com a minha distância e ausência em muitos momentos, sempre me apoiou e me compreendeu.

Aos amigos que estiveram comigo durante a faculdade e que me ajudaram a chegar até aqui.

RESUMO

KUSTERKO, S. K. **Uso de indicadores de desempenho como auxílio nos estudos de eficiência energética em sistemas de abastecimento de água.** Florianópolis, 2009, 92 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Os sistemas de bombeamento são responsáveis por cerca de 90% do consumo de energia elétrica no setor de saneamento, influenciando diretamente nas despesas das prestadoras de serviço. A eficiência energética é tida como o menor consumo de energia para suprir as necessidades de cada setor. O uso de indicadores de desempenho energético é uma importante ferramenta, pois permite avaliar o efeito de medidas adotadas, auxiliando no estabelecimento de prioridades de intervenção. O objetivo deste trabalho é analisar a eficiência energética de setores e trechos do Sistema de Abastecimento de Água dos municípios de Capinzal e Ouro, SC, através do uso de indicadores de desempenho propostos por Duarte (2008), propor soluções para um setor considerado ineficiente e estudar a viabilidade econômica destas alternativas. O trecho menos eficiente energeticamente foi entre a elevatória CB-11 e o Reservatório RS-Parizotto. A alternativa proposta foi a substituição da CB-11 por outras duas CBs, o que resultaria em uma redução de 50% no consumo mensal de energia e economia de R\$12.416,35 anualmente. O tempo de retorno para o investimento inicial foi de 34,1 anos, que se mostra não atrativo economicamente. No entanto, o custo ambiental deverá ser priorizado, visto que medidas que minimizem o consumo de energia são cada vez mais necessárias.

Palavras-Chave: Eficiência Energética, Indicadores de Desempenho Energético, Sistemas de Abastecimento de Água.

ABSTRACT

KUSTERKO, S. K. **Performance indicators as assistance in energy efficiency assessment for water supply systems.** Florianopolis, 2009, 92 p. Work of conclusion's course at Sanitary and Environment Engineering – Federal University of Santa Catarina.

Pump systems are responsible for about 90% of the electric energy consumption in sanitation, increasing directly of sanitary companies costs. Energy efficiency is known as the minimum use of energy to supply the necessities of each sector. Using energy performance indicators is an important tool, since they allow us to evaluate the effect of adopted alternatives and helps establishing priorities intervention. This paper aims to analyze the energy efficiency in sectors and paths of Capinzal and Ouro – Santa Catarina's water supply system, through the use of energy performance indicators proposed by Duarte (2008), in proposing solutions for a sector considered inefficient and in studying the economic viability for these alternatives. The path between CB-11 and Reservoir RS-Parozotto was considered the less efficient. The substitution of CB-11 for other two CBs would reduce the consumption of energy in 50% and would result in R\$12.416,35 economy annually. The investments would need 34,1 years to be paid, what shows not to be economically attractive. By the other hand, the environmental cost must be considered, because ever more alternatives that reduce the energy consumption are needed.

Keywords: Energy Efficiency, Energy Performance Indicators, Water Supply Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Etapas de um Sistema de Abastecimento de Água. Fonte: Cheung et al, 2008.	5
Figura 3.2: Índices de perdas de faturamento das operadoras regionais, para o ano de 2007. Fonte: SNIS (2009).	8
Figura 3.3: Índice de micromedição e perdas de faturamento por prestador de serviço.	8
Figura 3.4: Consumo Faturado de energia elétrica no Brasil.	9
Figura 3.5: Sistema de Indicadores de Desempenho. Fonte: Alegre et al (2000).	23
Figura 4.1: Exemplo de planta cadastral de um sistema de abastecimento de água.	28
Figura 4.2: Representação dos vários tipos de potência num sistema de abastecimento de água.	29
Figura 4.3: Localização do Município de Capinzal, SC.	37
Figura 4.4: Capinzal, SC.	38
Figura 5.1: Setores de abastecimento de água de Capinzal/Ouro, SC.	40
Figura 5.2: Esquema do SAA de Capinzal/Ouro, SC.	40
Figura 5.3: Distribuição do consumo de energia nas CBs.	46
Figura 5.4: Setores atendidos pela CB-04.	47
Figura 5.5: CB04-RS04.	48
Figura 5.6: RS04-RS04QP.	48
Figura 5.7: RS04-M39.	48
Figura 5.8: RS04-RS05.	48
Figura 5.9: RS05- M41.	49
Figura 5.10: RS05-M43.	49
Figura 5.11: Setores atendidos pela CB-06.	50
Figura 5.12: CB06-RSDor.	50
Figura 5.13: CB06-RS06'.	50
Figura 5.14: RSDor-M11.	51
Figura 5.15: RSDor-M12.	51
Figura 5.16: RSDor-M13.	51
Figura 5.17: Setores atendidos pela CB-09.	52
Figura 5.18: CB09-RS09.	53
Figura 5.19: RS09-M17.	53
Figura 5.20: Setores atendidos pela CB-10.	53
Figura 5.21: CB10-RS10.	54
Figura 5.22: CB10-CB13.	54
Figura 5.23: RS10-M19.	54
Figura 5.24: Setores atendidos pela CB-11.	55
Figura 5.25: CB11-RParizotto.	56
Figura 5.26: CB11-RS11.	56
Figura 5.27: RParizotto-M26.	56
Figura 5.28: RParizotto-M27.	56
Figura 5.29: RParizotto-M28.	56
Figura 5.30: RS11-M24.	56

Figura 5.31: Setores atendidos pela CB-02.	57
Figura 5.32: CB02-RS02.	58
Figura 5.33: RS02-M08.	58
Figura 5.34: RS02-M39.	58
Figura 5.35: Setores atendidos pela CB-03.	58
Figura 5.36: CB03-RS03.	59
Figura 5.37: RS03-M36.	59
Figura 5.38: Setores atendidos pela CB-12.	59
Figura 5.39: CB12-RS12.	60
Figura 5.40: RS12-M45.	60
Figura 5.41: Setores atendidos pela CB-13.	60
Figura 5.42: CB13-RS13.	61
Figura 5.43: RS13-M30.	61
Figura 5.44: Transporte de água entre RS-11 e RS-Parizotto.	64
Figura 5.45: RS-11: 400 m ³	64
Figura 5.46: RS-Parizotto: 50 m ³	64
Figura 5.47: RS-Dorini e, ao fundo junto à torre, RS-06.	65
Figura 5.48: Pressão na entrada da CB-11 maior que 25 mca.	66
Figura 5.49: Potências instaladas na CB11 e nas novas CBs: CBPar e CBLar.	68
Figura 5.50: Redução das potências instaladas após as mudanças das CBs.	68
Figura 5.51: Substituição da CB11 pela CBPar e CBLar no EPANET.	69
Figura 5.52: Simulação do funcionamento da nova CB-Par.	69
Figura 5.53: Simulação do funcionamento da nova CB-Lar.	69
Figura 5.54: Novas potências instaladas na CB11 e nas novas CBs: CBPar e CBLar	70
Figura 5.55: Redução das potências instaladas após as mudanças das CBs.	70
Figura 5.56: Substituição da CB-11 pela CB-Par e CB-Lar.	71
Figura 5.57: Redução do consumo mensal de energia elétrica pela substituição das CBs.	72
Figura 5.58: Economia anual com a instalação das novas CBs.	73
Figura 5.59: Percentual de redução nos gastos com energia.	73
Figura 5.60: Fluxo de caixa dos custos e benefícios da implantação das novas CBs.	73
Figura 5.61: Variação do VPL (R\$) com o período de anos (n).	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Atendimento urbano dos serviços de água, coleta e tratamento de esgotos.	6
Tabela 3.2: Perdas de faturamento nas regiões do Brasil, por tipo de prestador.	7
Tabela 3.3: Composição média das despesas de exploração (DEX) dos prestadores de serviços.	10
Tabela 3.4: Informações operacionais dos prestadores de serviços de água. Ano base 2007.	11
Tabela 3.5: Objetivos estratégicos, critérios de avaliação e indicadores de desempenho do sistema da IWA relativos à gestão de energia.	24
Tabela 3.6: Tarifas de energia elétrica da CELESC.	26
Tabela 4.1: Valores de entrada para cálculo dos indicadores de desempenho energético.	33
Tabela 5.1: Dados gerais do SAA Capinzal/Ouro.	41
Tabela 5.2: Informações sobre o SAA Capinzal/Ouro (dez/2008).	42
Tabela 5.3: Informações e indicadores sobre o SAA de Capinzal/Ouro (médias ano 2008).	43
Tabela 5.4: Características dos Reservatórios do SAA Capinzal/Ouro	44
Tabela 5.5: Dados das CBs do SAA Capinzal/Ouro (2008).	45
Tabela 5.6: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-04.	48
Tabela 5.7: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-06.	50
Tabela 5.8: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-09.	52
Tabela 5.9: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-10.	54
Tabela 5.10: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-11.	55
Tabela 5.11: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-02.	57
Tabela 5.12: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-03.	59
Tabela 5.13: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-12.	60
Tabela 5.14: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-13.	61
Tabela 5.15: Quadro resumo dos indicadores de desempenho energético em ordem decrescente.	61
Tabela 5.16: Quadro resumo dos indicadores de desempenho energético para os setores de alta tensão.	62
Tabela 5.17: Dimensionamento da CB-Parizotto.	67

Tabela 5.18: Dimensionamento da CB-Lar Imóveis.....	67
Tabela 5.19: Novos valores de indicadores de desempenho energético após as teste com modificações pretendidas.	70
Tabela 5.20: Novos valores de indicadores de desempenho energético após teste com modificações pretendidas.....	70
Tabela 5.21: Potencial de redução energética dos setores abastecidos pela CB-11...	71
Tabela 5.22: Economia mensal e anual do consumo energético após instalação das novas CBs.	72
Tabela 5.23: Cálculo do Tempo de Retorno do Capital.	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B/C – Relação Benefício-Custo

CB – Casa de Bomba

CE – Consumo Energético (kWh/m^3)

CEN – Consumo Energético Normalizado ($\text{kWh/m}^3/100\text{m}$)

e – Taxa de aumento de tarifa (%a.a.)

E1N – Energia em excesso por volume de água entrada no sistema ($\text{kWh/m}^3/100\text{m}$)

E2N – Energia em excesso por volume de água faturada ($\text{kWh/m}^3/100\text{m}$)

E3N – Excedente de energia no sistema

ETA – Estação de Tratamento de Água

FVP – Fator de Valor Presente

i – Taxa de juros (%a.a.)

IWA – *International Water Association*

K1 – Coeficiente de Variação Máxima Diária

K2 – Coeficiente de Variação Máxima Horária

n – anos

P – Potência (kW)

P_{form} – Potência fornecida (kW)

P_{min} – Potência mínima teórica (kW)

PMSS – Programa de Modernização do Setor de Saneamento

Q - Vazão

QP – Quebra de Pressão

RS – Reservatório

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SIMAE – Sistema Intermunicipal de Água e Esgoto

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TRC – Taxa de Retorno do Capital

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	1
2.OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo Geral.....	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Sistema de Abastecimento de Água.....	4
3.2. Panorama Geral do Saneamento.....	5
3.3. Panorama Geral do Consumo de Energia	9
3.4. Eficiência Energética	12
<i>Redução do custo sem diminuição do consumo de energia.....</i>	<i>15</i>
<i>Redução do custo pela diminuição do consumo de energia</i>	<i>16</i>
<i>Redução do custo pela alteração do sistema operacional.....</i>	<i>17</i>
<i>Redução do custo pela automação do sistema de abastecimento de água.....</i>	<i>17</i>
<i>Redução do custo com a geração de energia elétrica.....</i>	<i>18</i>
3.5. Gestão no Saneamento.....	18
3.6. Indicadores de Desempenho	20
3.7. Tarifas de Energia Elétrica.....	25
4.METODOLOGIA.....	27
4.1. Levantamento de dados cadastrais e campo	27
4.2. Construção dos Indicadores de Desempenho.....	28
<i>E1: Energia em excesso por volume de água entrada no sistema</i>	<i>31</i>
<i>E2: Energia em excesso por volume de água faturada</i>	<i>32</i>
<i>E3: Excedente de energia no sistema.....</i>	<i>32</i>
4.3. Comparação da eficiência energética	34
4.4. Proposição de soluções de eficiência energética	34
4.5. Avaliação econômica.....	35
4.6. Estudo de caso.....	36
5.RESULTADOS.....	39
5.1. Caracterização do sistema	39
<i>Caracterização dos setores.....</i>	<i>41</i>
<i>Caracterização dos Reservatórios</i>	<i>44</i>

<i>Caracterização das CBs</i>	<i>45</i>
5.2. Desempenho Energético.....	46
<i>CBs de alta tensão</i>	<i>47</i>
<i>CBs de baixa tensão</i>	<i>56</i>
<i>Quadro geral de desempenho energético</i>	<i>61</i>
5.3. Proposições para melhoria da eficiência energética	65
5.4. Avaliação econômica.....	72
6.CONCLUSÕES	75
7.RECOMENDAÇÕES.....	77
8.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

1. INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Abastecimento de Água compreendem etapas que vão desde a captação do líquido nos corpos hídricos, passando pelo seu tratamento, reservação e distribuição. Para que a água seja transportada a cada uma destas etapas ela precisa de energia, tanto elétrica, através da pressurização dos sistemas de bombeamento e recalque, quanto potencial, através das diferenças de nível entre os pontos de abastecimento (CHEUNG *et al*, 2008).

Um dos maiores gastos no setor de saneamento se dá nos sistemas de bombeamento. Segundo a ELETROBRAS (2005), cerca de 2% da energia gasta no país é utilizada no setor de saneamento e, dentro deste, 90% nos conjuntos motor-bomba. É possível que a despesa anual dos prestadores de serviços de saneamento, somente pela ineficiência energética seja de R\$ 375 milhões. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2009) o índice de perdas de faturamento pelos prestadores de serviços para o ano de 2007 foi de 39,1%, menor em 0,7% com relação ao índice do ano anterior. Quanto maior é a perda de faturamento, maior é a energia em excesso gasta no abastecimento de água.

Os desperdícios de energia elétrica são decorrentes de fatores como formas contratuais indevidas; procedimentos operacionais inadequados; vazamentos nos reservatórios, redes de distribuição e ramais prediais; equipamentos elétricos antigos e ultrapassados, dentre outros (GOMES, 2005). O consumo de energia, na maioria dos sistemas de água em todo o mundo poderia ser reduzido em pelo menos 25% por meio de ações de efficientização com melhor desempenho (JAMES *et al*, 2002). Como decorrência da conservação e uso racional de energia, há redução dos impactos ambientais, benefícios sociais e redução global de custos e investimentos para o país (ELETROBRAS, 2005).

A eficiência energética num sistema de abastecimento de água se dá pelo menor consumo de energia para suprir as necessidades de cada setor (ELETROBRAS, 2005). As ações para melhoria da eficiência energética do sistema de abastecimento de água podem ser administrativas ou operacionais (GOMES, 2005). Exemplos seriam a redução de cotas de reservatórios, a construção de reservatórios intermediários, a instalação de válvulas redutoras de pressão, o

bombeamento fora dos horários de ponta, a substituição de conjuntos motor-bomba, o re-enquadramento tarifário, etc.

A atividade das entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água é orientada pela definição de objetivos de curto, médio e longo prazo. A Gestão Energética em empresas de saneamento básico pode ser feita pela implantação de Programas de Racionalização do Uso de Energia, que têm por objetivo a eliminação do desperdício, sem comprometimento da segurança e qualidade dos serviços, com o auxílio de planos de ação (TSUTIYA, 2005).

É possível avaliar o efeito de medidas de operação e manutenção adotadas, apenas comparando os consumos de energia antes e depois da sua implementação. O desafio principal em termos de avaliação prende-se com a fase do diagnóstico: Quão eficiente é o sistema atualmente? Qual é o subsistema menos eficiente? Qual é o potencial de melhoria do sistema? (DUARTE, 2008)

O uso de indicadores é de grande valia para a análise de desempenho energético em sistemas de abastecimento público de água. A comparação destes indicadores, antes e depois de mudanças no sistema, avalia o efeito das medidas adotadas, auxiliando no estabelecimento de prioridades de intervenção e no controle de medidas implantadas (DUARTE, 2008). O seu uso deve, no entanto, ser contextualizado à realidade local, para que não se cometa erros de interpretação (ALEGRA et al, 2000).

Desta forma, este trabalho se propõe a avaliar a eficiência energética dos setores de abastecimento de água dos municípios de Capinzal e Ouro, SC através de indicadores de desempenho. O estudo servirá para determinar o excesso de energia fornecida aos diversos setores e trechos do sistema e como será possível reduzi-la, deixando-o mais eficiente energeticamente e reduzindo o consumo energético, perdas e gastos.

Os beneficiados com os resultados serão os usuários que terão a possibilidade de pagar por uma tarifa de água reduzida; o sistema que poderá ter menores gastos e perdas, além de maior eficiência; e o meio ambiente, pela redução do desperdício de água e energia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa compreende analisar a eficiência energética de setores e trechos do Sistema de Abastecimento de Água dos municípios de Capinzal e Ouro, SC, através do uso de indicadores de desempenho energético.

2.2. Objetivos Específicos

- a) Investigar os indicadores desempenho para eficiência energética dos setores de abastecimento de água propostos por Duarte (2008);
- b) Encontrar um setor ou trecho considerado ineficiente energeticamente através dos indicadores de desempenho;
- c) Apresentar soluções alternativas para a redução energética e o aumento da eficiência deste setor ou trecho de abastecimento;
- d) Encontrar o potencial de redução energética deste setor;
- e) Analisar a viabilidade econômica das soluções.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A energia é necessária em todo ciclo de utilização da água no saneamento. Resumidamente, utiliza-se energia para captar água e transportá-la até as estações de tratamento, distribuí-la para os consumidores, coletar os efluentes domésticos e industriais e conduzi-los até as estações de tratamento, tratar esses efluentes e lançar os mesmos nos corpos receptores (CHEUNG *et al*, 2008).

Para cada litro de água que se move pelo sistema de saneamento, há um custo de energia associado. Por tanto, as perdas de água nas formas de vazamento, furto, desperdício do consumidor e distribuição ineficiente afetam diretamente a quantidade de energia necessária para fazer a água chegar ao consumidor (CHEUNG *et al*, 2008).

3.1. Sistema de Abastecimento de Água

A concepção dos sistemas de abastecimento de água é extremamente variável em função do porte da cidade, topografia, sua posição em relação aos mananciais, etc. Para Tsutiya (2005), de modo geral, os sistemas são constituídos das seguintes partes:

- **Manancial:** corpo d'água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para abastecimento;
- **Captação:** Conjunto de obras para retirada da água do manancial. No caso de mananciais superficiais podem ser empregadas barragens de nível, canais, poços ou reservatórios de regularização da vazão. Para captação de água subterrânea podem ser utilizados drenos, galerias filtrantes e poços rasos ou profundos;
- **Estação Elevatória:** Geralmente existem várias estações elevatórias, tanto para o recalque da água bruta após a captação, como para o recalque de água tratada. Comumente são utilizadas as bombas centrífugas que succionam a água de um poço de sucção e recalcam para outra unidade do sistema (ETA, reservatório ou rede). Existem também as chamadas “boosters”, que se destinam a aumentar a pressão em adutoras ou redes de distribuição de água;

- **Adutora:** Canalizações que se destinam a conduzir água entre unidades que precedem a rede de distribuição. Podem ser por gravidade, quando o desnível geométrico é a favor do sentido de escoamento, ou por recalque, quando é necessário transportar água até um ponto mais elevado, através de uma estação elevatória. As adutoras podem também serem mistas, possuindo trechos por gravidade e trechos por recalque;
- **Estação de Tratamento de Água (ETA):** São unidades que se destinam a potabilizar a água para consumo humano, que atendam as normas e padrões de potabilidade no país;
- **Reservatório:** Possuem a função de regularizar a distribuição; assegurar uma reserva para combates a incêndios e situações de emergência; manter a pressão na rede de distribuição. Podem ser enterrados, semi-enterrados, apoiados ou elevados, de montante ou de jusante.
- **Rede de Distribuição:** Constituída por um conjunto de tubulações que conduzem a água para os pontos de consumo. Podem ser do tipo ramificadas, malhadas ou mistas. A pressão deve ficar entre 100 kPa e 500 kPa (10 mca e 50 mca).

A Figura 3.1 resume as etapas de um Sistema de Abastecimento de Água.

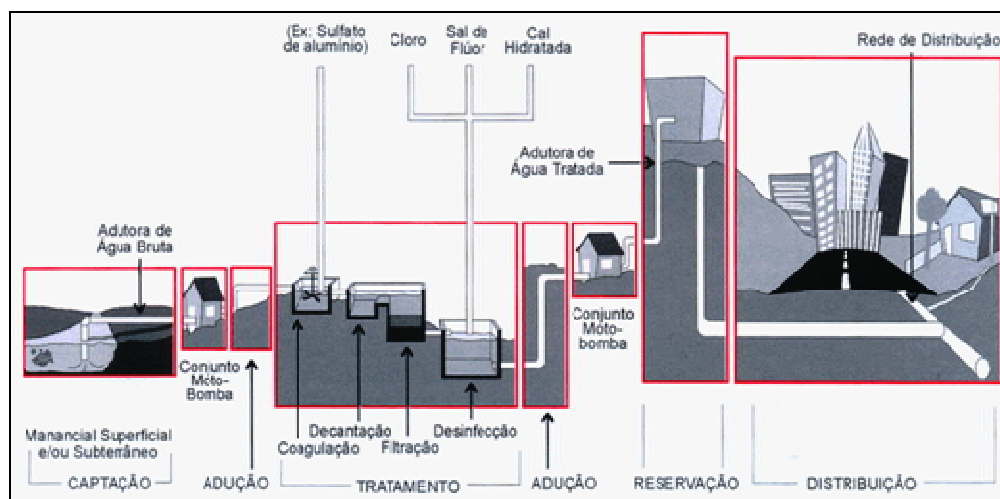


Figura 3.1: Etapas de um Sistema de Abastecimento de Água. Fonte: Cheung et al, 2008.

3.2. Panorama Geral do Saneamento

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS foi desenvolvido pelo Ministério das Cidades e está vinculado ao Programa de

Modernização do Setor de Saneamento (PMSS). Este Sistema conta com um grande banco de dados e indicadores de caráter operacional, gerencial, financeiro e de qualidade, sobre a prestação de serviços de água e de esgotos e sobre os serviços de manejo de resíduos sólidos urbanos no Brasil. Dentre as aplicações que o banco de dados do SNIS exerce importância podem ser citadas:

- Planejamento e execução de políticas públicas;
- Orientação da aplicação de recursos;
- Avaliação de desempenho dos serviços;
- Aperfeiçoamento da gestão, elevando os níveis de eficiência e eficácia;
- Orientação de atividades regulatórias e de fiscalização;
- Contribuição para o controle social;
- Utilização de seus indicadores como referência para comparação e para medição de desempenho no setor saneamento brasileiro.

O Relatório do SNIS, para o ano de 2007, mostra que o Brasil possui um nível de atendimento para abastecimento de água de 80,9% da população total. Já para os serviços de esgoto, da população total brasileira, 42% contam com serviços de coleta de esgotos e 32,5% com tratamento de esgotos sanitários, mostrando deficiências na prestação de serviços. A Tabela 3.1 mostra o índice de atendimento urbano para os serviços de água e esgoto nas regiões do Brasil.

Tabela 3.1: Atendimento urbano dos serviços de água, coleta e tratamento de esgotos.

Regiões	Índice de atendimento (%)				
	Água		Coleta de esgotos		Tratamento dos esgotos gerados
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total
Norte	52,9	64,2	5,1	6,2	9,6
Nordeste	68,7	90,1	18,9	25,4	29,8
Sudeste	90,9	98,2	65,3	70,8	33,8
Sul	86,2	99,5	31,5	37,2	29,5
Centro-oeste	87,7	98,3	43,9	48,4	41,8
Brasil	80,9	94,2	42,0	49,1	32,5

Fonte: SNIS (2009).

Os resultados do SNIS mostram uma diferença significativa entre os indicadores que se referem à população total e aqueles que se referem somente à população urbana, normalmente mais elevados. Para o SNIS, é possível que o uso de

índices de atendimento da população total signifique maior precisão nos resultados (SNIS, 2009).

Com relação à população urbana, os valores são relativamente elevados para o serviço de abastecimento de água, 94,2%, mas ainda baixo para o serviço de coleta de esgotos sanitários, 49,1%. Com relação aos dados de 2006, houve um acréscimo de 1,1% para o serviço de abastecimento de água e 0,8% para coleta de esgoto.

Para todos os serviços, há um maior índice de atendimento nas regiões sul, sudeste e centro-oeste. Os estados do norte e nordeste possuem índices baixos de atendimento dos serviços de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgotos sanitários.

Outro ponto importante é o índice de perdas de faturamento pelos prestadores de serviços. Para o ano de 2007 este índice foi de 39,1%, menor em 0,7% com relação ao índice do ano anterior. Este indicador está diretamente relacionado aos altos consumos de energia elétrica. A Tabela 3.2 mostra os índices de perdas de faturamento das prestadoras de serviços por região. A Figura 3.2 mostra um gráfico com os índices de perdas de faturamento das operadoras regionais do país, para o ano de 2007.

Tabela 3.2: Perdas de faturamento nas regiões do Brasil, por tipo de prestador.

Regiões	Abrangência			Brasil (%)
	Regional (%)	Microrregional (%)	Local (%)	
Norte	53,3	-	61,0	56,7
Nordeste	45,0	22,9	34,5	44,0
Sudeste	39,3	37,9	37,6	38,8
Sul	25,6	19,5	34,4	28,1
Centro-oeste	33,1	31,8	40,1	35,5
Brasil	39,1	35,6	39,1	39,1

Fonte: SNIS (2009).

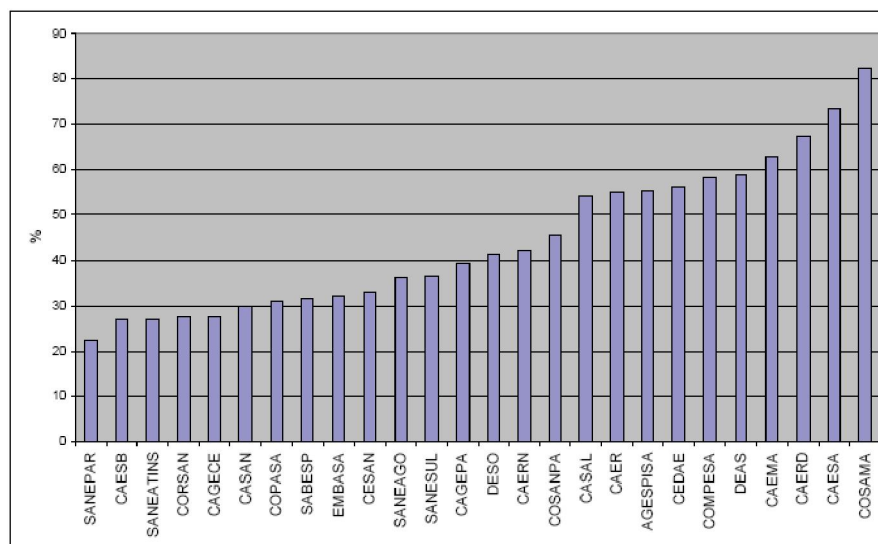


Figura 3.2: Índices de perdas de faturamento das operadoras regionais, para o ano de 2007.
Fonte: SNIS (2009)

Quanto menor o índice de micromedicação, maiores são as perdas de faturamento, como pode ser observado na Figura 3.3, que apresenta o índice de micromedicação e de perdas de faturamento nas prestadoras regionais do país, para o ano de 2006.

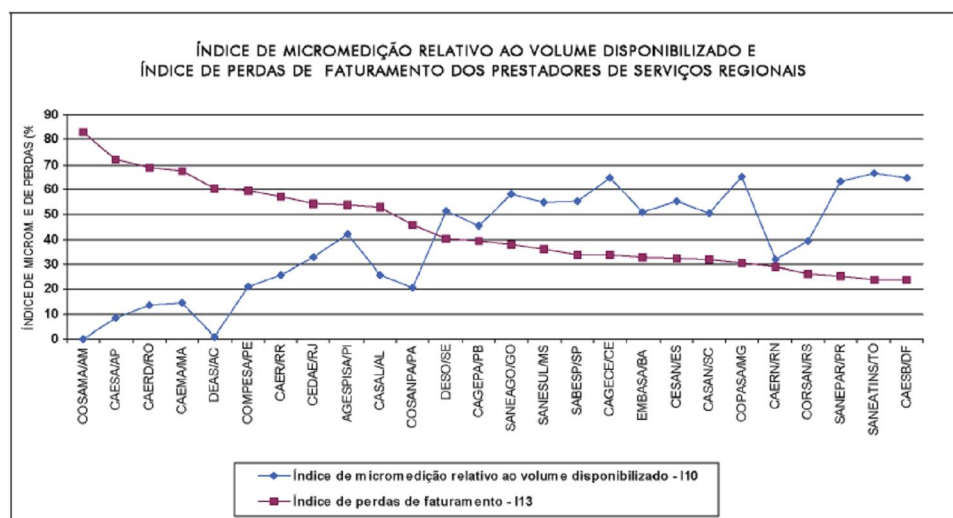


Figura 3.3: Índice de micromedicação e perdas de faturamento por prestador de serviço.
Fonte: SNIS (2007).

3.3. Panorama Geral do Consumo de Energia

De acordo com a ELETROBRÁS (2005) mais de 2% do consumo total de energia elétrica do Brasil, o equivalente a 8,3 bilhões de kWh/ano, são consumidos por prestadores de serviços de saneamento, como mostrado na Figura 3.4. Os conjuntos motor-bomba são normalmente responsáveis por 90% do consumo nessas instalações. As despesas totais dos prestadores de serviços de saneamento com energia elétrica chegam a R\$ 1,5 bilhão por ano, variando entre 6,5% a 23,8% das despesas totais, com média de 12,2% para os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário de companhias estaduais de saneamento.

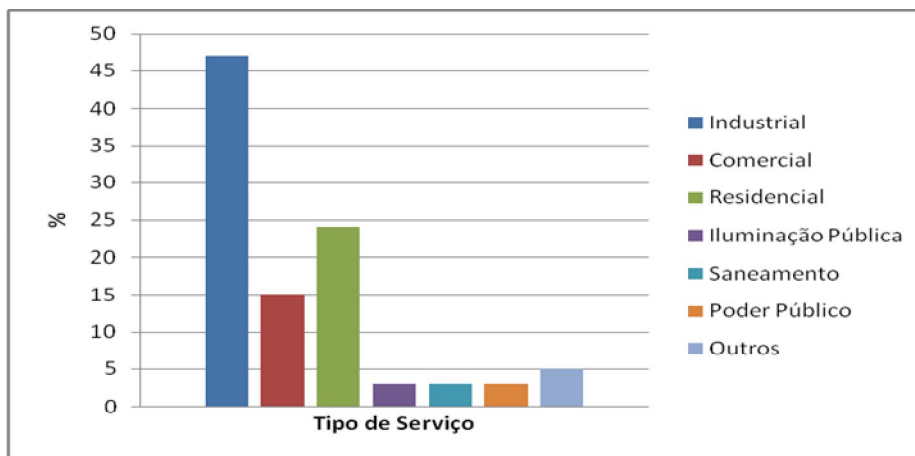


Figura 3.4: Consumo Faturado de energia elétrica no Brasil.
Fonte: ELETROBRÁS (2005)

Embora não existam dados consolidados sobre quanto da energia consumida é desperdiçada, estima-se que a despesa anual dos prestadores de serviços de saneamento, somente pela ineficiência energética é de R\$ 375 milhões. Despesa esta que, pela ausência de marco regulatório para o setor, é freqüentemente repassada para a sociedade via tarifa. (ELETROBRÁS, 2005).

Duarte (2008) considera que o consumo de energia em abastecimento de água depende de aspectos relacionados com:

- Procedimentos de operação que influenciem a quantidade de energia consumida ou os períodos de maior consumo e os respectivos custos;
- Procedimentos de manutenção, incluindo a manutenção do equipamento de bombeamento e das redes (por exemplo, nível de perdas reais);

- Equipamento elevatório utilizado (por exemplo, bombas de velocidade fixa/variável, eficiências das bombas para os vazões bombeadas);
- Topologia do sistema, dependendo das opções de projeto;
- Contexto externo, independente das políticas de gestão (por exemplo, topografia da área servida, localização das origens de água e dos pontos de consumo).

As perdas de faturamento têm relação também com a composição das despesas de exploração, visto que os gastos com energia elétrica ficam em segundo ou terceiro lugar na composição das despesas de exploração (DEX), conforme mostrado na Tabela 3.3. Consideram-se como despesas de exploração os seguintes itens: pessoal, serviços gerais, energia elétrica, materiais gerais, etc.

Tabela 3.3: Composição média das despesas de exploração (DEX) dos prestadores de serviços.

Tipo de despesa	Participação no DEX	
	Regional (%)	Local (%)
Pessoal próprio	39,20	36,30
Produtos químicos	3,10	3,80
Energia elétrica	15,40	18,50
Serviços de terceiros	16,50	19,60
Água importada	0,30	5,90
Despesas fiscais ou tributárias	12,50	4,70
Outras despesas	13,00	11,20
Total	100,00	100,00

Fonte: Adaptado de SNIS (2009).

O saneamento é uma atividade altamente consumidora de energia elétrica, havendo estimativas que essa área seja responsável por cerca de 7% do consumo total da energia global. Deste consumo, 3% são usados nos sistemas de bombeamento e tratamento de água para residências urbanas e indústrias. Na maioria dos países, o custo do consumo de energia para o abastecimento de água representa parcelas orçamentárias significativas para as empresas concessionárias, chegando a alguns casos a se colocar como o segundo maior insumo após as despesas com os recursos humanos (JAMES, 2002).

Gomes (2005) chama a atenção para a perda significativa de energia nos sistemas de distribuição de água e esgotamento sanitário. Os desperdícios de energia elétrica são decorrentes de fatores como:

- Formas contratuais indevidas;

- Procedimentos operacionais inadequados;
- Vazamentos nos reservatórios, redes de distribuição e ramais prediais;
- Mau dimensionamento dos sistemas;
- Equipamentos elétricos antigos e ultrapassados;
- Tecnologias mal utilizadas;
- Erros de concepção dos projetos;
- Manutenções precárias.

Com base nos dados do SNIS, para o ano de 2007, foi construída a Tabela 3.4 que descreve informações operacionais das empresas de saneamento do Brasil.

Tabela 3.4: Informações operacionais dos prestadores de serviços de água. Ano base 2007.

REGIÃO	Empresa/ Estado	População Atendida Total (hab)	Consumo de Energia Elétrica (1000 kWh/ano)	Índice de consumo de energia elétrica (kWh/m ³)	Despesas com energia elétrica nas despesas de exploração (%)	Perdas de faturamento (%)
NORTE	CAER/RR	329.364	17.643,37	0,49	13,31	55,28
	CAERD/RO	634.157			14,91	67,47
	CAESA/AP	298.085			15,38	73,31
	COSAMA/AM	176.471	6.398,98	0,36	11,68	82,27
	COSANPA/PA	1.786.238	160.905,18	1,05	20,32	45,73
	DEAS/AC	114.527	8.593,63	0,59	14,09	58,77
	SANEATINS/TO	1.005.900	37.942,20	0,58	15,36	26,92
	TOTAL/MÉDIA	4.344.742	46.297	0,61	15,01	58,54
NORDESTE	AGESPISA/PI	1.781.317	100.898,94	0,55	18,65	55,55
	CAEMA/MA	2.747.902	166.079,70	0,58	35,42	62,94
	CAERN/RN	1.994.003	119.664,37	0,59	26,06	42,08
	CAGECE/CE	3.703.415	156.338,00	0,5	15,42	27,62
	CAGEPA/PB	2.609.737	157.176,91	0,76	19,29	39,4
	CASAL/AL	1.482.316	130.784,10	1,11	21,77	54,22
	COMPESA/PE	5.574.786	452.978,24	0,85	28,64	58,36
	DESO/SE	1.444.058	163.440,00	1,31	18,98	41,3
	EMBASA/BA	8.653.044	563.937,06	0,9	18,71	32,26
	TOTAL/MÉDIA	29.990.578	223.477	0,79	22,55	45,97
SUDESTE	CEDA/RJ	10.318.798	948.130,22	0,52	10,35	56,18
	CESAN/ES	1.961.456	126.733,39	0,51	16,87	33,08
	COPASA/MG	11.985.070	715.942,11	0,83	16,91	30,91
	SABESP/SP	22.958.621	1.872.667,0	0,65	13,85	31,48
	TOTAL/MÉDIA	47.223.945	915.868	0,63	14,50	37,91
SUL	CASAN/SC	2.305.089	128.324,32	0,63	12,23	29,89
	CORSAN/RS	5.772.047			13,93	27,59
	SANEPAR/PR	8.543.182	505.266,30	0,83	16,46	22,34
	TOTAL/MÉDIA	16.620.318	316.795	0,73	14,21	26,61
CENTRO OESTE	CAESB/DF	2.334.475	190.550,00	0,86	7,84	26,91
	SANEAGO/GO	4.360.683	259.150,04	0,8	16,4	36,42
	SANESUL/MS	1.219.120		0,64	19,48	36,65
	TOTAL/MÉDIA	7.914.278	169.777,35	0,77	14,57	33,33
TOTAL GERAL		106.093.861	334.443	0,71	16,17	40,47

Fonte: SNIS (2009).

Com base nos dados mostrados é possível perceber uma grande variação do índice de consumo de energia elétrica entre os estados, assim como as perdas faturamento. Apenas com estes dados não se torna ainda possível fazer conclusões sobre a eficiência dos prestadores de serviços. É necessário observar cada caso em particular.

3.4. Eficiência Energética

Os custos de energia representam valiosos recursos orçamentários para outras funções municipais também importantes assim como educação, transporte público e assistência médica. No mundo desenvolvido, o custo de energia para o abastecimento de água pode facilmente representar até metade do orçamento do município. Até mesmo em países desenvolvidos os sistemas de água e energia são, tradicionalmente, o segundo maior custo depois da folha dos servidores. O consumo de energia, na maioria dos sistemas de água em todo o mundo, poderia ser reduzido em pelo menos 25 por cento, por meio de ações de efficientização com melhor desempenho (JAMES *et al*, 2002).

No Brasil, a tendência da demanda de energia elétrica do setor é aumentar à medida que os serviços de água e esgotamento sanitário se expandirem. Segundo Gomes (2005) este fato é observado com preocupação pelo setor energético, uma vez que o custo da energia elétrica nos sistemas de bombeamento tem se acentuado significativamente, constituindo-se o segundo item de despesas nas empresas prestadoras de serviço.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL define que a conservação deve ser entendida como a utilização de uma menor quantidade de energia para obtenção de um mesmo produto ou serviço por meio da eliminação de desperdício, do uso de equipamentos eficientes e do aprimoramento de processos produtivos. Como decorrência da conservação e uso racional de energia, há redução dos impactos ambientais, benefícios sociais e redução global de custos e investimentos para o país (ELETROBRAS, 2005).

Os municípios são importantes agentes nos esforços para melhorar a utilização eficiente de água e energia. Até o ano 2020, espera-se que mais da metade da população dos países em desenvolvimento esteja morando em cidades. Com as

populações urbanas aumentadas e com o crescimento de setores industriais municipais, a quantidade de energia irá crescer significativamente. Além disso, embora a proporção de água consumida pelo setor agrícola represente 70-80 por cento do uso de água no mundo inteiro, os usuários urbanos e industriais irão continuar a representar demandas cada vez maiores na crescente escassez de recursos hídricos (JAMES *et al*, 2002).

O uso racional e eficiente de energia elétrica tem como paradigma a implementação de ações que otimizem o uso de energia elétrica através da redução do consumo ou do deslocamento de cargas para fora do horário de ponta do sistema elétrico, sem comprometer o desempenho dos sistemas de cada uso final ou o nível de conforto proporcionado aos usuários. Para os sistemas de abastecimento de água, as atividades implementadas para economizar água e energia podem ter um maior impacto se planejadas de forma conjunta (JAMES *et al*, 2002).

A principal vantagem da eficiência energética é que ela é sempre mais barata que a produção de energia, ainda que o investimento em tecnologia eficiente requererá também maiores gastos de capital e que sistemas e equipamentos eficientes são, geralmente, mais caros que as tecnologias que substituem. De modo geral, o custo de conservar 1kWh é, mais barato que produzi-lo (GELLER*, 1994, apud CHEUNG *et al*, 2008).

Projetos identificados pelo Programa PROCEL SANEAR da ELETROBRÁS têm evidenciado que a eficiência energética pode colaborar efetivamente para minimizar os custos dos prestadores de serviços de saneamento, podendo resultar ainda em menores tarifas de água, esgoto e energia para sociedade, acelerando também o processo de universalização de ambos os serviços (ELETROBRAS, 2005). Para Duarte (2008) pode ser relativamente fácil avaliar o efeito de medidas de operação e manutenção adotadas, apenas comparando os consumos de energia antes e depois da sua implementação.

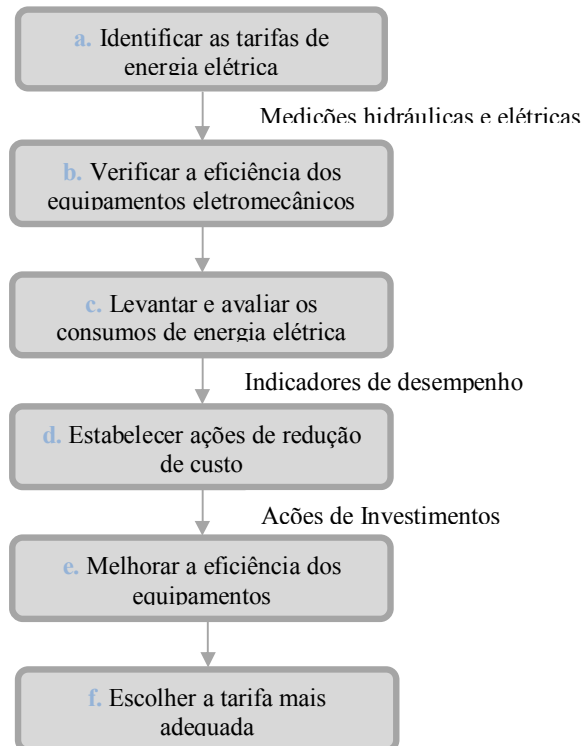
Para James *et al* (2002), a eficiência energética em sistemas de abastecimento pode ser entendida como ações físicas ou não-físicas que visam o uso otimizado da energia para satisfazer às necessidades de água.

Gomes (2005) afirma que as medidas de eficiência energética podem ser divididas em ações administrativas e operacionais. As administrativas, geralmente as

(*) GELLER, H. (1994). **O uso eficiente da eletricidade: Uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. Instituto Nacional de Eficiência Energética, Rio de Janeiro, RJ.

primeiras a serem tomadas, não envolvem custos de implantação e são relativas aos contratos existentes com as concessionárias de energia elétrica. Já as ações operacionais, normalmente implantadas em uma segunda etapa, dizem respeito às ações de engenharia.

De forma semelhante, para Tsutiya (2005), a redução do custo de energia elétrica em um sistema de abastecimento de água necessita da implementação de várias ações, iniciando-se com um diagnóstico do sistema existente, principalmente com a identificação dos pontos de uso excessivo de energia. Em seguida, normalmente são realizadas algumas ações administrativas, objetivando a redução de custo, que neste caso, não necessitam de investimento e por outro lado, não há redução do consumo de energia elétrica. A otimização dos equipamentos eletromecânicos, geralmente constitui o passo seguinte. Neste caso, são necessários estudos e investimentos para se conseguir a redução objetivada. É comum, as ações de redução de energia terminarem neste ponto. Em seguida, se dá a otimização hidráulica do sistema de abastecimento de água. As etapas de um diagnóstico inicial são mostradas no fluxograma a seguir.



De maneira mais exemplificada, as medidas de redução de energia citadas por Tsutiya (2005) podem ser classificadas da seguinte forma:

Redução do custo sem diminuição do consumo de energia

Para Tsutiya (2005), a redução dos custos de energia elétrica sem a redução do consumo de energia e sem investimentos, através de ações administrativas, se faz através de:

- **Classificação:** verificação da classe em que se enquadra a instalação - instalações classificadas como de água, esgoto e saneamento, possuem desconto de 15% na tarifa;
- **Readequação da demanda contratada:** a fim de se evitar pagamento de uma demanda não utilizada, ou ainda, no caso de tarifação horo-sazonal, da demanda de ultrapassagem;
- **Re-enquadramento tarifário;**
- **Desativação de instalações sem uso:** corte de ligação, uma vez que não esteja sendo utilizada ou permaneça desativada por período superior a seis meses. Apesar de não haver consumo de energia ativa, se paga o consumo mínimo em baixa tensão e, no caso de alta tensão, a demanda contratada;
- **Conferência da medição da energia elétrica:** leituras diárias nos medidores e posterior e comparação com faturas apresentadas pela concessionária de fornecimento de energia elétrica (erro de leitura);
- **Negociação com as companhias energéticas:** redução de tarifas (por serem as companhias de saneamento grandes consumidoras) e operações emergenciais (paradas imprevistas e/ou falta de energia elétrica).

Por outro lado, a redução do custo sem redução do consumo de energia, com investimento, depende de recursos investidos em equipamentos e instalações, após a realização de pequenos estudos. Como se trata de investimentos não muito elevados é também bastante utilizado para a redução de custos e se dá por:

- **Correção do fator de potência:** não influi diretamente no consumo de energia elétrica. Entretanto, nos motores em que o fator de potência é baixo, as correntes são maiores, aumentando as perdas na instalação, e em consequência, as concessionárias cobram uma sobretaxa pela energia

elétrica para fator de potência abaixo de 0,92, resultando em aumento das contas mensais;

- **Alteração da tensão de alimentação:** consiste na modificação do padrão de entrada de energia elétrica de baixa para alta tensão, pois o consumo com tarifa em alta tensão geralmente é mais econômico, se o consumidor tiver transformador próprio para alimentar seus equipamentos;
- **Melhoria do fator de carga.**

Redução do custo pela diminuição do consumo de energia

- **Redução da altura manométrica:** é composta pela altura geométrica e pelas perdas de carga.
 - *Redução da altura geométrica:* Consiste no desnível geométrico entre o nível do líquido na extremidade da tubulação de recalque e o nível do líquido no poço de sucção. Desde que o sistema seja bem projetado, dificilmente se consegue qualquer diminuição nesta altura;
 - *Redução das perdas de carga:* Os materiais utilizados dependem do diâmetro da tubulação, da pressão de serviço, das características do líquido, da declividade do terreno, da altura do aterro, do tipo de solo, do método de assentamento e de seu custo econômico.
- **Redução no volume de água:** Dentre os diversos fatores a serem considerados para a diminuição do volume de água em sistemas de abastecimento destacam-se:
 - *Controle de perdas de água;*
 - *Uso racional da água.*
- **Aumento no rendimento dos conjuntos motor-bomba:**
 - *Aumento do rendimento do motor:* indica a sua capacidade em converter a energia elétrica absorvida da rede em energia mecânica a ser fornecida no eixo. A rigor, a parcela de energia retida e perdida nos motores não pode ser eliminada, mas pode ser reduzida a níveis mais aceitáveis. Os motores quando são superdimensionados geralmente não oferecem as melhores condições de fator de potência e rendimento o que também implica em um custo de demanda maior

que o necessário. Para reduzir os custos operacionais devem-se selecionar motores cuja potência nominal se situa próxima das solicitações mais freqüentes;

- *Aumento do rendimento da bomba.*

Redução do custo pela alteração do sistema operacional

- **Alteração do sistema de bombeamento para reservação:** Normalmente as bombas que recalcam água para reservatórios enterrados, semi-enterrados ou apoiados são projetadas com capacidade para atender a demanda máxima diária. Nestes casos, o bombeamento é contínuo durante 24 horas/dia, de modo a manter os reservatórios cheios ou com um nível de água pré-determinado. Entretanto, nas condições iniciais em geral não há necessidade de bombeamento contínuo;
- **Utilização de variadores de rotação nos conjuntos motor-bomba:** São recomendados nos sistemas em que a altura geométrica de recalque é menor que o somatório das perdas de carga ao longo da tubulação. O objetivo do controle de vazão é manter a pressão constante ou em um valor pré-estabelecido, evitando assim vazamentos na rede por pressões elevadas ou constrangimentos a consumidores de cotas elevadas, por pressões reduzidas na rede;
- **Alteração nos procedimentos operacionais:** Consiste no desligamento das bombas no horário de ponta de energia, quando a tarifa elétrica é superior à tarifa dos demais horários.

Redução do custo pela automação do sistema de abastecimento de água

Consiste no uso de qualquer dispositivo mecânico ou eletro-eletrônico para controlar máquinas e processos. É um sistema automático de controle pelos quais os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções sem a necessidade da interferência humana. Alguns exemplos de sistemas de automação são:

- **Telemetria:** Proporciona o monitoramento à distância de vários parâmetros, como: leitura de nível de reservatórios, tensão, corrente, demanda, fator de potência, temperatura de rolamentos e mancais etc.;

- **Telecomando:** Possibilita o acionamento à distância de equipamentos como conjuntos moto-bomba, válvulas etc.;
- **Sistema de Supervisão e Controle:** Consiste na soma de sistemas de telemetria e telecomando a um Centro de Controle Operacional e é composto por dois sub-sistemas:
 - *Sistema Supervisório (SCADA):* O SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) realiza a aquisição de dados do nível de controle, serve como plataforma de operação e disponibiliza ferramentas para análise e supervisão dos dados do processo. O objetivo principal do sistema SCADA é propiciar uma interface de alto nível do operador com o processo, informando-o em tempo real de todos os eventos de importância.
 - *Sistema de Controle:* Realiza a aquisição de sinais dos instrumentos de processo e, baseado em lógicas de controle automático, controla os equipamentos do processo.

Redução do custo com a geração de energia elétrica

Consiste no aproveitamento de potenciais energéticos e uso de geradores próprios em horários de ponta.

3.5. Gestão no Saneamento

O saneamento básico no Brasil tem sido tratado, via de regra, como instrumento de poder político e não raro como fonte de arrecadação municipal de recursos (OLIVEIRA, 2004). Para o Saneamento Ambiental, um setor que tem na energia seu segundo maior fator de custo, essa questão vem se tornando crucial.

Oliveira (2004) cita que mesmo entre aqueles que se mostram radicalmente contra a operação por companhias privadas, há a concordância de que a gestão pública não conseguiu resolver vários dos principais problemas do saneamento básico brasileiro. Para estes, a dificuldade gerencial das companhias públicas é uma das principais causas das deficiências do setor.

Para Moreira (2007), de fato, os municípios, hoje, não dispõem de órgão ou entidade especificamente constituídos com a finalidade de regular os serviços

concedidos. Em se tratando de municípios autônomos que concederam plena ou parcialmente seus serviços de saneamento, a solução mais comum tem sido a de atribuir as funções de fiscalização da qualidade da prestação dos serviços à autarquia ou ao departamento municipal que tenha operado - ou continue a operar parcialmente – os referidos serviços.

Para Alegre *et al* (2006), os usuários esperam que a infra-estrutura de abastecimento de água esteja disponível e que as prestadoras cumpram seus objetivos em matéria de serviço para sempre. No entanto, estas infra-estruturas estão envelhecendo em muitas regiões do mundo, e a gestão sustentável está longe de ser uma prática generalizada.

Duarte (2008) comenta que a atividade das entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água é orientada pela definição de objetivos em três níveis:

- Ao nível estratégico, de longo prazo, onde são identificados os objetivos globais da organização e as respectivas metas, normalmente pela gestão de topo;
- Ao nível tático, mais setorial, que estabelece as vias para atingir os resultados pretendidos, ou seja, as táticas a adotar para o cumprimento dos objetivos estratégicos;
- E, por fim, ao nível operacional, que estabelece e programa as ações a desenvolver a curto prazo.

A norma ISO 24.512, relativa à gestão e avaliação do desempenho dos serviços de abastecimento de água, traz objetivos estratégicos deste tipo de atividade, tais como (DUARTE, 2008):

- Garantir a proteção da saúde pública;
- Corresponder às solicitações e às expectativas dos utilizadores do serviço;
- Garantir o fornecimento do serviço em condições normais e de emergência;
- Garantir a sustentabilidade da entidade gestora;
- Promover o desenvolvimento sustentável da comunidade;
- Proteger o ambiente.

Para Tsutiya (2005), a Gestão Energética em empresas de saneamento básico pode ser feita pela implantação de Programas de Racionalização do Uso de Energia,

que têm por objetivo a eliminação do desperdício, sem comprometimento da segurança e qualidade dos serviços. O acompanhamento da eficiência e eficácia na utilização da energia elétrica pode ser feito por indicadores de desempenho.

O Plano de Ação para a redução do consumo energético é constituído das seguintes fases (TSUTIYA, 2005):

- Diagnóstico preliminar: contabilização dos dados de consumo e avaliação do potencial de redução;
- Elaboração do programa de racionalização: deverá conter etapas, objetivos, planos de ações, cronograma e atuações de cada comissão;
- Ações para envolvimento e conscientização: através da divulgação, mobilização e treinamento;
- Operacionalização do programa;
- Avaliação dos resultados.

Para atingir os seus objetivos de gestão, as entidades gestoras devem procurar elevados padrões de eficiência e de eficácia. A *eficiência* mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço. A *eficácia* mede até que ponto os objetivos de gestão, definidos específica e realisticamente, foram cumpridos (ALEGRE *et al*, 2000).

3.6. Indicadores de Desempenho

Segundo o SNIS (2007), indicadores são cruzamentos de duas ou mais informações primárias ou variáveis, auxiliando no processo de análise. Através de indicadores é possível comparar diferentes cenários tanto entre si como com certo valor de referência. Os indicadores auxiliam na avaliação de eficiência, custos, perdas, investimentos, qualidade, etc.

Os indicadores são elementos que sinalizam, comunicam, demonstram, indicam e informam sobre uma questão qualquer. Nesse sentido, os indicadores têm várias características definidoras: quantificam a informação, tornando seu significado mais aparente; simplificam a informação para facilitar a comunicação; são descritivos, não explicativos; representam um modelo empírico da realidade, não a realidade em si. Um indicador deve, ainda, facilitar a comparação (MIRANDA, 2002).

Para Miranda (2002), os indicadores compõem-se de dois grupos: indicadores individuais, nos quais muitos dados são considerados independentemente; e índices agregados, nos quais um dado engloba várias informações, que podem estar representadas por algum indicador individual. A construção dos índices implica na ponderação dos diversos indicadores que os compõem, envolvendo algum juízo de valor (subjetividade).

Duarte (2008) aconselha a utilização de indicadores de desempenho ou de índices de desempenho técnico, pois a promoção de projetos que tenham por objetivo a otimização dos recursos energéticos e dos seus custos é cada vez mais comum nas entidades gestoras. Avaliar a eficiência energética é importante para estabelecer prioridades de intervenção e para controlar a eficácia das medidas implementadas. No entanto, esta tarefa está longe de ser trivial.

Em sistemas de abastecimento de água, os indicadores relacionados ao consumo de energia e à eficiência energética mais comuns são (ELETROBRAS, 2005):

- Custo específico da energia: custo unitário da energia adquirida da concessionária (R\$/MWh)
- Consumo específico: energia consumida por volume de água bombeado (kWh/m³).
- Custo de energia por volume vendido (R\$/m³)
- Valor faturado por volume bombeado (R\$/m³ bombeado)

Os indicadores calculados pelo SNIS são agrupados da mesma forma que as informações. Os indicadores devem ser suficientes para destacar aspectos relevantes da oferta, da demanda, das receitas e dos custos dos serviços prestados, o que implica em uma constante reavaliação e adequação conforme as necessidades. Alguns exemplos de indicadores utilizados pelo SNIS, relacionados à energia elétrica são mostrados nas Equações 1 a 3:

- Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água:

$$I_{058} = \frac{\text{Consumo Total de Energia Elétrica em SAA}}{\text{Volume de Água}_{(\text{produzido} + \text{tratado importado})}} \text{ (kWh/m}^3\text{)} \quad (1)$$

- Índice de perdas de faturamento:

$$I_{013} = \frac{\text{Volume de Água}_{(\text{produzido}+\text{tratado importado}-\text{de serviço})} - \text{Volume de Água}_{\text{Faturado}}}{\text{Volume de Água}_{(\text{produzido}+\text{tratado importado})}} (\%) \quad (2)$$

- Participação da despesa com energia elétrica nas despesas de exploração:

$$I_{037} = \frac{\text{Despesas com Energia Elétrica}}{\text{Despesas de Exploração}} (\%) \quad (3)$$

Alegre *et al* (2000) propõe o indicador consumo de energia normalizado (CEN), que reduz as alturas manométricas (H) de diferentes instalações a uma altura única, de modo a permitir a comparação do desempenho destas, sendo definido como “a quantidade média de energia gasta para elevar 1 metro cúbico de água a 100 m de altura por meio de instalações de bombeamento”, calculado pela Equação 4:

$$CEN = \frac{\text{Energia Consumida}}{\text{Volume Bombeado} * \left(\frac{H}{100}\right)} (\text{kWh/m}^3/100\text{m}) \quad (4)$$

Na avaliação de desempenho, um indicador representa uma medida quantitativa de algum aspecto particular do desempenho da entidade gestora ou do seu nível de serviço. É um instrumento de apoio ao monitoramento da eficiência e da eficácia, simplificando uma avaliação que de outro modo seria mais complexa e subjetiva (ALEGRE *et al*, 2000). Assim, os indicadores de desempenho devem, dentre outros requisitos, estarem claramente definidos; serem representativos dos aspectos que se busca avaliar e serem verificáveis (MIRANDA, 2002).

Para Matos (2005), o uso de indicadores de desempenho permite criar mecanismos de competitividade entre as concessionárias. Desta forma, o aumento da participação do setor privado tem constituído um maior incentivo para o uso de indicadores de desempenho.

Um indicador de desempenho deve conter em si informação relevante, mas é inevitavelmente uma visão parcial da realidade da gestão na sua globalidade, não incorporando em geral toda a sua complexidade. Assim, o seu uso descontextualizado pode levar a interpretações erradas. É necessário analisar sempre os indicadores de desempenho no seu conjunto, com conhecimento de causa, e associados ao contexto em que se inserem (ALEGRE *et al*, 2000).

De forma a permitir uma avaliação de desempenho apropriada, o número de indicadores a utilizar deve ser cuidadosamente ponderado. Como referido, não tem significado e é por vezes enganador usar um único indicador para fazer um diagnóstico. Contudo, é possível seleccionar um primeiro conjunto de indicadores para obter uma avaliação geral do desempenho de uma entidade gestora, a ser complementada com o auxílio de indicadores ou dados mais detalhados sempre que o utilizador necessite de fazer uma análise mais pormenorizada, como demonstrado na Figura 3.5 (ALEGRE *et al*, 2000).

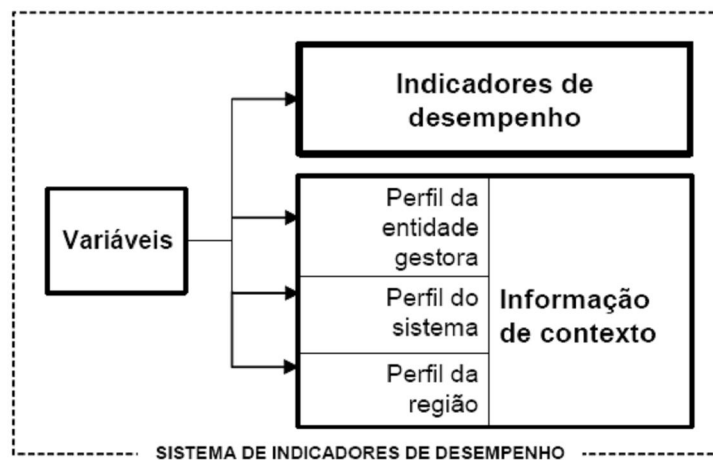


Figura 3.5: Sistema de Indicadores de Desempenho. Fonte: Alegre et al (2000).

A comparação pelos indicadores requer o uso de medidas de referência e pode ser interna ou externa (MATOS, 2005). A comparação interna pode ser feita entre unidades distintas da mesma organização, ou entre empresas de uma mesma “holding”, além de proporcionar uma evolução ao longo do tempo. Já a comparação externa pode ser feita com outras entidades com contextos semelhantes do ponto de vista em análise ou entidades com contextos distintos do ponto de vista em análise. O

processo de *benchmarking* compara com os melhores valores de referência ou com os melhores processos.

De maneira análoga ao SNIS, o IWA propõe medidas de desempenho para o abastecimento de água na Europa. Estes indicadores são instrumentos de apoio à gestão e contêm uma estrutura bem definida e definições precisas. Procuram ser abrangentes e permitem fácil adaptação a situações concretas (MATOS, 2005). Além disso, consideram os aspectos propostos pela norma ISO 24.512. Os indicadores, objetivos em termos de gestão de energia e os critérios de avaliação mais importantes são mostrados na Tabela 3.5 (DUARTE, 2008).

Tabela 3.5: Objetivos estratégicos, critérios de avaliação e indicadores de desempenho do sistema da IWA relativos à gestão de energia.

Objetivo estratégico	Critério de avaliação	Medidas de desempenho
Assegurar o fornecimento do serviço em condições normais e de emergência	Manutenção de pressões adequadas nas redes de adução e distribuição	QS10 - Adequação da pressão de serviço na distribuição (%) <i>Percentagem dos pontos de entrega (em ramais) onde as pressões na hora de maior consumo são iguais ou superiores aos valores requeridos.</i>
Garantir sustentabilidade da entidade gestora	Dimensão adequada das infra-estruturas	Ph4 - Utilização da capacidade de bombeamento (%) <i>Percentagem máxima de capacidade de bombeamento (que pode ser utilizada simultaneamente) e que foi efetivamente utilizada.</i>
	Sustentabilidade económico-financeira	Fi10 - Custos de energia elétrica (%) <i>Percentagem de custos correntes correspondentes a energia elétrica</i>
Proteger o ambiente	Redução das quantidades de energia consumida	Ph5 - Consumo de energia normalizado (kWh/m ³ /100m) <i>Consumo médio de energia de bombeamento de 1 m³ a 100 m de elevação.</i>
		Ph6 - Consumo de energia reativa (%) <i>Percentagem do consumo total de energia de bombeamento que corresponde ao consumo de energia reativa</i>
		Ph7 - Recuperação de energia (%) <i>Percentagem do consumo total de energia de bombeamento que é recuperada pelo uso de turbinas ou por bombas de eixo reversível</i>
	Utilização de energias renováveis	(não contemplado)

Fonte: Duarte (2008).

Para Miranda (2002), em relação aos indicadores de perdas, uma primeira constatação que se verifica nos estudos pesquisados – de forma unânime –, é que os indicadores de perdas expressos em percentual, ou seja, que se utilizam apenas de relações entre volumes, não são os mais apropriados para a avaliação de perdas. A maioria dos estudos propõe, alternativamente ou complementarmente aos indicadores em percentual, a utilização dos chamados fatores de escala que relacionam volumes perdidos de água com a extensão da rede de distribuição e com a quantidade de economias ou de ligações de água, na unidade de tempo, ou seja, m³/km de rede/dia,

m³/economia/dia ou m³/ligação/dia (pode-se adotar outras unidades de tempo, de acordo com o objetivo da análise).

Duarte (2008) afirma que o consumo específico de energia depende da topografia do terreno, que dita em grande parte a necessidade de energia que é necessário introduzir no escoamento para garantir o serviço aos consumidores. É esta a razão que inviabiliza a utilização destes indicadores para comparar sistemas entre si, com vista a estabelecer prioridades de intervenção. É relevante estabelecer medidas de eficiência energética que permitam ultrapassar esta limitação e identificar os sistemas como maior potencial de melhoria em termos energéticos.

3.7. Tarifas de Energia Elétrica

As tarifas de energia elétrica são determinadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece também os critérios de classificação dos consumidores e as formas de cobrança de energia elétrica. Para efeito de faturamento, os consumidores são divididos em dois grupos (TSUTIYA, 2005):

Grupo A – alta tensão;

Grupo B – baixa tensão.

Os consumidores de alta tensão são faturados com componentes de demanda e consumo. As tarifas podem ser cobradas segundo dois sistemas: convencional e horosazonal (azul ou verde) (TSUTIYA, 2005).

Os consumidores de baixa tensão são atendidos com tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV e são faturados somente com a componente de consumo de energia ativa. Segundo a Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), as tarifas de energia elétrica do Estado de Santa Catarina são dadas pela Tabela 3.6:

Tabela 3.6: Tarifas de energia elétrica da CELESC.

TARIFA CONVENCIONAL						
Subgrupos	Classificação		Demanda		Energia	
A3a	Todas as Classes		15,78		0,16038	
A4	Todas as Classes		23,82		0,16089	
B1	Residencial Normal		-		0,27836	
	Residencial Baixa Renda até 30kWh		-		0,09556	
	Residencial Baixa Renda de 30 a 80kWh		-		0,16547	
	Residencial Baixa Renda de 80 a 100kWh		-		0,16698	
	Residencial Baixa Renda de 100 a 160kWh		-		0,25052	
	Residencial Baixa Renda de 160 a 220kWh		-		0,27836	
B2	Rural		-		0,16540	
	Cooperativa de Eletrificação Rural				0,13004	
	Serviço Público de Irrigação		-		0,15211	
B3	Demais Classes		-		0,26386	
B4a	Iluminação Pública - Rede de Distribuição		-		0,13595	
B4b	Iluminação Pública - Bulbo da Lâmpada		-		0,14920	
A1 = igual ou superior a 230 kV A2 = 88kV a 138 kV A3 = 69kV A3a = 30 a 44 kV A4 = 2,4 a 25 kV						
TARIFA HORO SAZONAL AZUL						
Segmentos Horos Sazonais			Ponta		Fora de Ponta	
Subgrupos	Classificação	Componentes	Seca	Úmida	Seca	Úmida
A2	Todas as Classes	Demanda	15,95		2,30	
		Energia	0,24049	0,21700	0,14796	0,13433
A3	Todas as Classes	Demanda	21,11		4,08	
		Energia	0,24049	0,21700	0,14796	0,13433
A3a	Todas as Classes	Demanda	22,08		5,20	
		Energia	0,24049	0,21700	0,14796	0,13433
A4	Todas as Classes	Demanda	29,73		7,74	
		Energia	0,24049	0,21700	0,14796	0,13433
A1 = igual ou superior a 230 kV A2 = 88kV a 138 kV A3 = 69kV A3a = 30 a 44 kV A4 = 2,4 a 25 kV						
TARIFA HORO SAZONAL VERDE						
Segmentos Horos Sazonais			Ponta		Fora de Ponta	
Subgrupos	Classes	Componentes	Seca	Úmida	Seca	Úmida
A3a	Todas as Classes	Demanda	5,20			
		Energia	0,75314	0,72965	0,14796	0,13433
A4	Todas as Classes	Demanda	7,74			
		Energia	0,93086	0,90737	0,14796	0,13433
A1 = igual ou superior a 230 kV A2 = 88kV a 138 kV A3 = 69kV A3a = 30 a 44 kV A4 = 2,4 a 25 kV						

Fonte: CELESC (2009)

Além da tarifa praticada, alguns consumidores podem receber descontos, devido à atividade praticada. No caso das concessionárias de saneamento básico, o desconto é de 15% na demanda e 15% no consumo.

4. METODOLOGIA

4.1. Levantamento de dados cadastrais e campo

O levantamento de dados cadastrais se deu por meio de pesquisa nos registros, banco de dados e plantas cadastrais da prestadora de serviços de saneamento, assim como do laboratório RESAN da UFSC, referentes ao consumo energético nos setores de abastecimento de água. Os registros e banco de dados da prestadora de serviços e do laboratório RESAN deram acesso a valores, de cada setor, referentes a:

- Número de ligações;
- Volumes tratado, servido, macromedido e micromedido;
- Vazões atendidas;
- Perdas no faturamento;
- Potências fornecidas;
- Consumo energético;

As informações foram coletadas de todo o Sistema de Abastecimento de Água de Capinzal/Ouro, divididas por setor operacional. Um exemplo de planta cadastral é mostrado na Figura 4.1. Nas plantas cadastrais da prestadora de serviços de saneamento foi feita a coleta de dados referentes a:

- Cotas topográficas;
- Abrangência e limites dos setores;
- Localização de estações elevatórias;
- Localização de reservatórios;
- Diâmetros e comprimentos de trechos;
- Grandes consumidores.

Estas informações serviram também para delimitar os trechos estudados de cada setor.

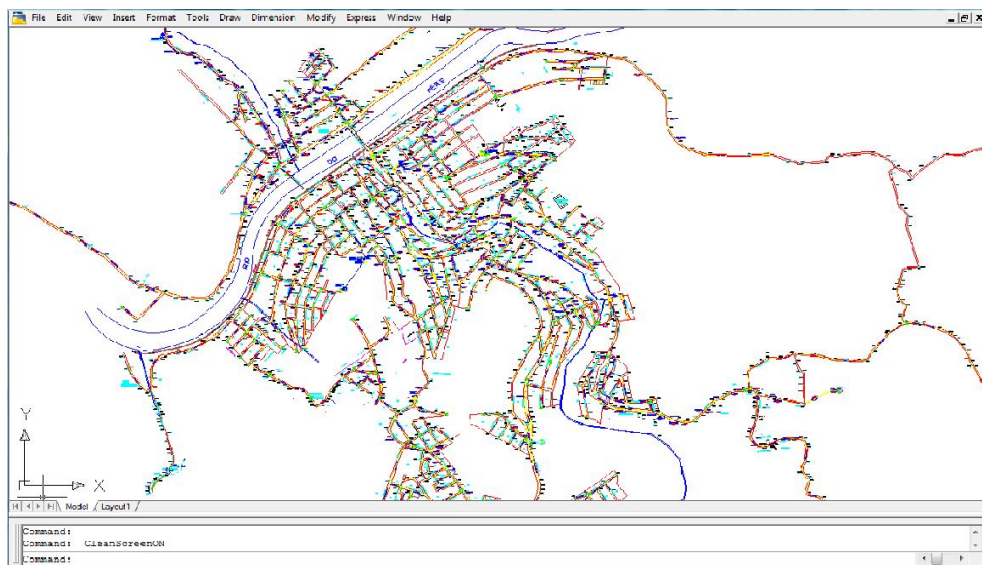


Figura 4.1: Exemplo de planta cadastral de um sistema de abastecimento de água.

Estes dados iniciais são necessários para a construção dos indicadores de desempenho energético.

4.2. Construção dos Indicadores de Desempenho

A construção dos indicadores de desempenho energético foi feita com base no estudo desenvolvido por Duarte (2008), que propõe indicadores para avaliar o consumo específico de energia (expressos em kWh/m³). Estes indicadores comparam a energia fornecida a um sistema com a energia mínima teórica necessária para satisfazer os consumos em todos os nós à pressão mínima requerida em cada caso. Para cada setor de abastecimento de água foram construídos 3 (três) indicadores de desempenho, mostrados a seguir.

A potência utilizada num sistema de abastecimento de água pode ser entendida pela Equação 5. Um parâmetro importante para os cálculos são as diferentes potências do escoamento mostradas na Figura 4.2.

$$P = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (5)$$

Sendo:

P = potência do escoamento (W);

γ = peso específico da água (9800 N/m³);

Q = vazão escoada (m³/s);

H = carga hidráulica na seção em relação a um dado referencial (mca)

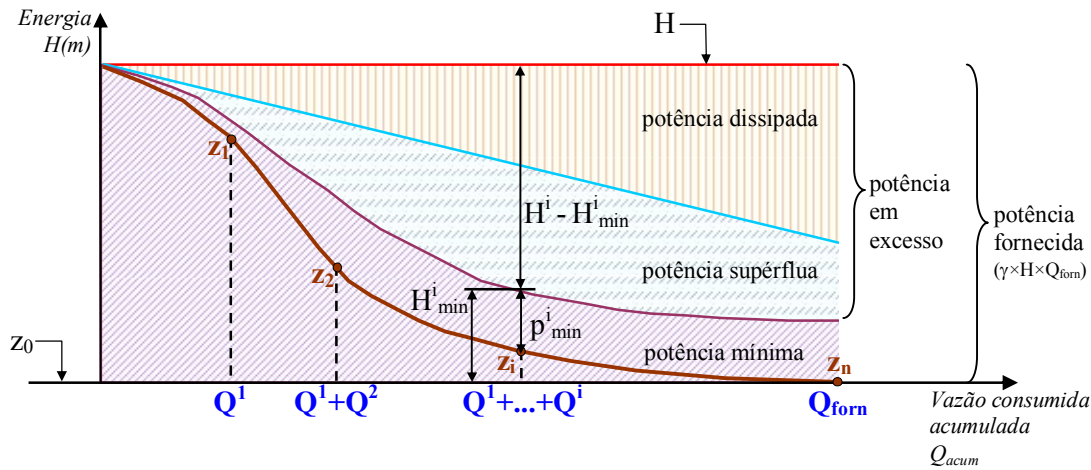


Figura 4.2: Representação dos vários tipos de potência num sistema de abastecimento de água.
Fonte: Duarte (2008).

Podem-se nomear tais potências da seguinte forma:

Potência fornecida: quantifica toda a potência efetivamente fornecida ao sistema no instante em análise (nas diversas origens), medida em relação à cota de referência adotada, dada pela Equação 6:

$$P_{forn}(t) = \gamma \cdot Q_{forn}(t) \cdot H(t) \quad (6)$$

Sendo:

$P_{forn}(t)$ = potência fornecida ao sistema no instante t (W);

$Q_{forn}(t)$ = vazão entrada no sistema no instante t (m^3/s);

$H(t)$ = carga hidráulica na origem no instante t medida em relação ao referencial adotado (por exemplo, cota do nível de água no reservatório) (mca).

Duarte (2008) afirma que para que o consumidor localizado na cota mais desfavorável seja abastecido de acordo com os requisitos mínimos de pressão (10 mca), outros consumidores receberão provavelmente potência superior à necessária, dado que cada unidade de vazão de uma dada origem é fornecida com a mesma potência para todos os pontos de consumo que essa origem abastece.

Além disso, Duarte (2008) cita que caso exista mais do que uma origem de água no sistema de abastecimento (por exemplo, reservatórios, estações elevatórias ou derivações de adutoras), a potência total fornecida corresponderá à soma das potências parciais relativas a cada origem, todas medidas em relação ao mesmo referencial de cotas.

Potência mínima (teórica): resulta da soma das potências necessárias em todos os pontos de consumo para satisfazer as respectivas pressões mínimas (p_{imin}), medidas em relação à cota de referência adotada. No Brasil, como os sistemas de abastecimento operam com reservatório doméstico, a potência mínima corresponde àquela com altura manométrica de 10 mca. A potência mínima é dada pela Equação 7:

$$P_{min} = \sum P_{imin} = \gamma \cdot Q_{forn} \cdot H_{min} \quad (7)$$

Caso haja recuperação de parte da energia fornecida ao escoamento (através da instalação de turbinas, por exemplo), a potência recuperada (teórica) no instante t , $P_{rec}(t)$, é dada pela Equação 8:

$$P_{rec}(t) = \sum_{k=1}^{N_T} P_{rec}^k(t) = \gamma \cdot \sum_{k=1}^{N_T} [Q^k(t) \cdot H_{rec}^k(t)] \quad (8)$$

Sendo:

- $P_{rec}^k(t)$: potência recuperada teórica no nó k no instante t (admitindo rendimentos das turbinas de 100%) (W);
- $Q^k(t)$: vazão turbinada no nó k no instante t (m^3/s);
- $H_{rec}^k(t)$: carga hidráulica recuperada (queda útil) no nó k no instante t (mca);
- N_T : número de nós com recuperação de energia.

Potência em excesso (teórica): corresponde à diferença entre a potência fornecida e a potência mínima, dada pela Equação 9:

$$P_{excesso} = P_{forn} - P_{rec} - P_{min} \quad (9)$$

Potência dissipada: quantifica a potência dissipada no escoamento (por exemplo, nas perdas de carga);

Potência disponível: é dada pela diferença entre a potência fornecida e a potência dissipada;

Potência supérflua: corresponde à potência fornecida ao sistema para além da soma da potência mínima com a potência dissipada.

Através destas denominações foram criados por Duarte (2008) três índices de desempenho energético global do sistema:

E1: Energia em excesso por volume de água entrada no sistema

Este indicador é expresso em kWh/m³ de água entrada no sistema. Através deste pode-se avaliar o potencial teórico de redução de energia gasta por volume de água entrada no sistema de abastecimento, ou seja, o objetivo é que este valor seja o menor possível. Algumas medidas que podem resultar da avaliação deste parâmetro são correspondentes à gestão da energia fornecida (P_{forn}), tais como a seleção do conjunto motor-bomba ou da redução da carga hidráulica fornecida. O cálculo do indicador E1 é mostrado na Equação 10.

$$E1 = \frac{E_{exc}}{V_{forn}} = \frac{\int P_{exc}(t)dt}{\int Q_{forn}(t)dt} \quad (10)$$

Caso a vazão seja constante, o cálculo pode ser simplificado como mostrado nas Equações 11 e 12:

$$E1 = \frac{P_{exc}}{Q_{forn}} = \frac{P_{forn} - P_{rec} - P_{min}}{Q_{forn}} \quad (11)$$

$$E1 = \frac{\gamma \cdot \left[Q_{forn} \cdot H - \sum_{k=1}^{NT} Q^k \cdot H_{rec}^K - \sum_{i=1}^n Q^i \cdot H_{min}^i \right]}{3.6 \cdot 10^6 \cdot Q_{forn}} \quad (12)$$

Efeitos relacionados à vazão fornecida (Q_{forn}) não são adequados para avaliar este indicador, pois a variação do índice não se torna evidente, visto que medidas de controle de perdas reais de água reduzem a vazão fornecida. O objetivo aqui é reduzir a potência fornecida para um mesmo volume de água entrada no sistema. Da mesma forma, sistemas com perdas de água muito diferentes não são fáceis de serem comparados por este indicador.

E2: Energia em excesso por volume de água faturada

Este índice, que é expresso em kWh/m³ de água faturada, mostra diretamente como medidas de controle de perdas de água influenciam no uso de energia, representado pela Equação 13.

$$E2 = \frac{E_{\text{exc}}}{V_{\text{fat}}} = \frac{\int P_{\text{exc}}(t)dt}{\int Q_{\text{fat}}(t)dt} \quad (13)$$

Caso a vazão seja constante, as Equações 14 e 15 representam o cálculo de E2.

$$E2 = \frac{P_{\text{exc}}}{Q_{\text{fat}}} = \frac{P_{\text{forn}} - P_{\text{rec}} - P_{\text{min}}}{Q_{\text{fat}}} \quad (14)$$

$$E2 = \frac{\gamma \cdot \left[Q_{\text{forn}} \cdot H - \sum_{k=1}^{NT} Q^k \cdot H_{\text{rec}}^K - \sum_{i=1}^n Q^i \cdot H_{\text{min}}^i \right]}{3.6 \cdot 10^6 \cdot Q_{\text{fat}}} \quad (15)$$

Reduzindo-se perdas reais, o índice terá um valor inferior (melhor), uma vez que o numerador (P_{forn}) diminui (por Q_{forn} ser menor) e o denominador se mantém, ou seja, a potência fornecida para um mesmo volume de água é menor.

E3: Excedente de energia no sistema

Em todos os sistemas de abastecimento de água a energia que é fornecida sempre inclui um excedente para cobrir perdas de carga. Este indicador quantifica (adimensionalmente) o excesso teórico de energia fornecida ao sistema, como observado nas Equações 16 e 17.

$$E3 = \frac{E_{\text{forn}}}{E_{\text{min}}} = \frac{\int P_{\text{forn}}(t)dt}{\int P_{\text{min}}(t)dt} \quad (16)$$

$$E3 = \frac{P_{\text{forn}}}{P_{\text{min}}} = \frac{\left[Q_{\text{forn}} \cdot H - \sum_{k=1}^{NT} Q^k \cdot H_{\text{rec}}^k \right]}{\sum_{i=1}^n Q^i \cdot H_{\text{min}}^i} \quad (17)$$

Para este indicador, que será sempre maior do que 1, deve-se adotar uma cota de referência, sendo esta a do ponto mais desfavorável do sistema.

Para o cálculo dos indicadores de desempenho energético o sistema foi dividido de acordo com as estações elevatórias (CBs) e os respectivos setores aos quais estas atendem. Para o cálculo da potência mínima teórica, foi levado em consideração o número médio de horas de funcionamento diário dos conjuntos motor-bomba, assim como o coeficiente de variação diária ($K1=1,2$).

As principais variáveis de entrada e os respectivos indicadores de influência são mostrados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Valores de entrada para cálculo dos indicadores de desempenho energético.

VARIÁVEIS	UNIDADE	E1	E2	E3
Vazão fornecida (Q_{forn})	m ³ /s	x	x	x
Vazão faturada (Q_{fat})	m ³ /s		x	
Vazão consumida em cada nó i (Q_i)	m ³ /s	x	x	x
Carga hidráulica mínima em cada nó i (H_{imin})	mca	x	x	x
Carga hidráulica fornecida (H)	mca	x	x	x
Peso específico da água (γ)	9800N/m ³	x	x	x

De maneira geral, é possível definir as variáveis como (adaptado de HOSSA, 2008):

Vazão fornecida: quantidade de água fornecida ao setor a partir de um reservatório ou de uma estação elevatória, dada em m³/s.

Vazão Faturada: é a quantidade de água que efetivamente é paga à concessionária, pelos consumidores. Este valor será fornecido pela concessionária, e representa a vazão micromedida. A diferença entre a vazão fornecida e a vazão faturada resulta na perda total do sistema, representada pela Equação 18:

$$Perdas_{Totais} = Vazão_{Form} - Vazão_{Faturada} \quad (18)$$

Vazão Consumida em cada Nó: É a vazão de demanda de cada nó, aqui representado por setor de abastecimento.

Carga Hidráulica mínima em cada nó: Será considerada constante, conforme preconiza a NBR12218 que estabelece uma pressão dinâmica mínima de 10 mca e pressão estática máxima de 50 mca.

Carga Hidráulica fornecida: pode ser dada pela diferença entre a cota nível superior do reservatório e a cota mais favorável do setor, subtraídas as perdas de carga, como também, pela altura manométrica fornecida pelos conjuntos motor-bombas. Duarte (2008) recomenda que seja adotado como referência o ponto mais desfavorável do sistema.

Peso Específico da Água: Adotado o valor de 9800N/m³.

4.3. Comparação da eficiência energética

A comparação do desempenho de cada setor foi feita pelo processo de *benchmarking*, buscando pelos trechos mais e menos eficientes, através da classificação dos indicadores. Foram considerados menos eficientes energeticamente aqueles setores cujos valores normalizados de E1, E2 e E3 fossem maiores e mais eficientes, os com menores valores.

4.4. Proposição de soluções de eficiência energética

Dentre os setores de abastecimento de água julgados como ineficientes, foi escolhido um considerado crítico para estudo de proposição de soluções de eficiência energética. O setor crítico foi apontado como aquele em que o indicador E1N (kWh/m³_{água entrada}/100m) fosse maior entre os trechos analisados.

As alternativas sugeridas foram simuladas no modelo EPANET para verificação de sua possibilidade e comportamento do sistema com relação à pressão. Para o dimensionamento de novos conjuntos motor-bomba foi utilizada a Equação 19 para o cálculo das potências elétricas:

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_{Man}}{\eta} \quad (19)$$

Onde:

P = Potência (W);

γ = Peso específico da água (9800 N/m³);

Q = Vazão escoada (l/s);

H_{Man} = Altura manométrica: somatório da altura geométrica e das perdas de carga durante o escoamento (mca)

η = rendimento do conjunto motor-bomba. Para efeito de estudo e melhor eficiência do sistema, foi adotado um alto rendimento ($\eta=0,8$).

O consumo de energia do conjunto motor-bomba é dado pela Equação 20:

$$C_{EnE} = P.T \quad (20)$$

Onde:

C_{EnE} = Consumo de energia elétrica (kWh/mês);

P = Potência do conjunto motor-bomba (kW)

T = número de horas de funcionamento do conjunto durante o mês (h/mês).

A economia do consumo energético refletirá em uma economia na conta de energia elétrica. Uma possibilidade é que a redução da potência modifique o grupo de faturamento de energia elétrica, devido à modificação de alta para baixa tensão.

4.5. Avaliação econômica

A análise econômica da solução proposta foi feita através do método do Tempo de Retorno do Capital (TRC). O Tempo de Retorno descontado é o número de períodos que zera o Valor Presente Líquido (VPL), ou anual (VAL), do projeto, levando-se em conta a taxa de juros e de aumento das parcelas incidentes no fluxo de caixa (GOMES, 2005).

Para o cálculo do TRC, os parâmetros econômicos necessários e analisados, de acordo com Gomes (2005) são:

Taxa de juros

A taxa de juros “i” mede o valor total de juros em relação ao valor inicial do investimento.

Taxa de aumento de tarifa

As parcelas de custos e receitas, normalmente, sofrem variações crescentes, em função do aumento de tarifas de água, energia, custo de mão de obra, etc. A Taxa de Aumento de Tarifa “e” proporciona valores crescentes de parcelas (custos e receitas) da série considerada.

Fator de Valor Presente (FVP)

O Fator de Valor Presente (FVP) consiste na relação P/A, onde “P” é o valor presente do investimento e “A” o valor da parcela que incide no final de cada intervalo de tempo. O FVP, relativo à série das anuidades crescentes, sujeitas a uma taxa de aumento da tarifa “e”, e a uma taxa de juros compostos “i” é dada pela Equação 21:

$$FVP = \frac{(1+e)^n - (1-i)^n}{(1+e) - (1-i)} \times \frac{1}{(1+i)^n} \quad (21)$$

Valor Presente Líquido (VLP)

O Valor Presente Líquido (VLP) é dado pela diferença dos benefícios anuais pelo investimento e custos anuais, mostrado na Equação 22:

$$VPL = B.FVP(i, e, n) - I - C.FVP(i, e, n) \quad (22)$$

Para Gomes (2005) o TRC descontado pode ser determinado através de uma planilha eletrônica, fazendo-se variar o valor de “n”, mantendo-se constantes os demais parâmetros até que o VPL se anule. A análise do TRC está diretamente relacionada, também, com a duração da vida útil do projeto. O critério do método do tempo de retorno de capital estabelece que:

TRC > vida útil do projeto, o projeto não é atrativo;

TRC = vida útil do projeto, a atratividade é indiferente, e

TRC < vida útil do projeto, o projeto é atrativo economicamente.

4.6. Estudo de caso

O estudo dos indicadores de desempenho energético se deu nos setores do Sistema de Abastecimento de Água de Capinzal, SC (Figura 4.3) e do município

vizinho, Ouro. Este sistema vem sendo utilizado pelo Laboratório de Redes de Saneamento da Universidade Federal de Santa Catarina (RESAN-UFSC) desde o ano de 2007 como base para diversos estudos e trabalhos referentes a perdas de água, modelagem do sistema de abastecimento, dentre outros.



Figura 4.3: Localização do Município de Capinzal, SC.

O Município de Capinzal se encontra no meio oeste do Estado de Santa Catarina, na microrregião de Joaçaba, a 442 km de Florianópolis e conta com uma área de aproximadamente 245 mil km². A população do município é de 18.465 habitantes, segundo dado do censo do IBGE de 2007. Sua economia é baseada na indústria e na agropecuária, sendo sede de uma das maiores agroindústrias do país, a Perdigão. Capinzal se caracteriza por suas grandes declividades, cotas elevadas e grandes desníveis entre os diversos pontos da cidade (Figura 4.4).

Ouro, município vizinho a Capinzal e abastecido pelo mesmo Sistema de Abastecimento de Água, possui área de 209 km². A população é de 7.411 habitantes e a economia se baseia na agropecuária. Assim como Capinzal, os grandes desníveis topográficos são característicos do município.



Figura 4.4: Capinzal, SC.

No ano de 1972, através das Leis Nº 654 e Nº 179 das Prefeituras Municipais de Capinzal e Ouro respectivamente, foi criada a Autarquia Intermunicipal de Saneamento chamada SIMAE – Serviço Intermunicipal de Água e Saneamento. Até o presente momento, somente Capinzal/Ouro e Joaçaba/Herval D'Oeste/Luzerna possuem este tipo de serviço intermunicipal no Brasil (GIROL, 2008).

A SIMAE de Capinzal/Ouro foi escolhida para realização deste trabalho devido ao projeto financiado pela FUNASA – Fundação Nacional de Saúde intitulado “*Uso associado de técnicas computacionais e de experimentação voltado ao gerenciamento de perdas em sistemas de abastecimento de água*”. Este projeto está sendo desenvolvido no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental no Laboratório de Simulação Hidráulica de Infra-Estruturas Urbanas - RESAN com a supervisão do professor Peter Batista Cheung. Sua duração prevista é de dois anos (2007 a 2009). Seu objetivo geral é desenvolver um protocolo de ações para avaliação das perdas (reais e aparentes) no sistema de abastecimento de água da região e a otimização dos sistemas elevatórios para redução dos custos com energia elétrica, apoiado em tecnologias computacionais de baixo custo, utilizando o EPANET (software livre) e de experimentação em campo.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterização do sistema

O Sistema de Abastecimento de Água dos municípios de Capinzal e Ouro atende aproximadamente 26.000 pessoas, nos dois municípios. O manancial utilizado para o Sistema é o Rio do Peixe, que possui grande importância para o abastecimento de água e para economia da região.

O recalque de água bruta, a partir do ponto de captação no Rio do Peixe, é feita através de dois conjuntos motor-bombas, que a transportam até a ETA – Estação de Tratamento de Água localizada ao lado da sede administrativa da SIMAE em Capinzal. O tratamento utilizado para limpeza da água é do tipo convencional, sendo que a estação trata 75 l/s.

Depois de devidamente tratada, a água é encaminhada ao reservatório denominado RS-01, de onde é distribuída por gravidade às regiões baixas da cidade. Para atender as regiões altas, o sistema conta com 10 estações elevatórias de água tratada, nomeadas neste trabalho como “casa de bomba” (CB). Tais CBs recalcam água para 18 reservatórios situados nos pontos altos de diferentes setores operacionais, de onde é novamente distribuída por gravidade.

O Sistema de Abastecimento de Água de Capinzal/Ouro está dividido em 33 setores operacionais, sendo 21 destes no município de Capinzal e os 12 restantes, no município de Ouro. Cada setor operacional possui um macromedidor que fornece os dados de vazão fornecida para o SIMAE. A Figura 5.1 apresenta a distribuição e localização dos setores operacionais no SAA Capinzal/Ouro. Além disso, um esquema geral do sistema pode ser visualizado na Figura 5.2.

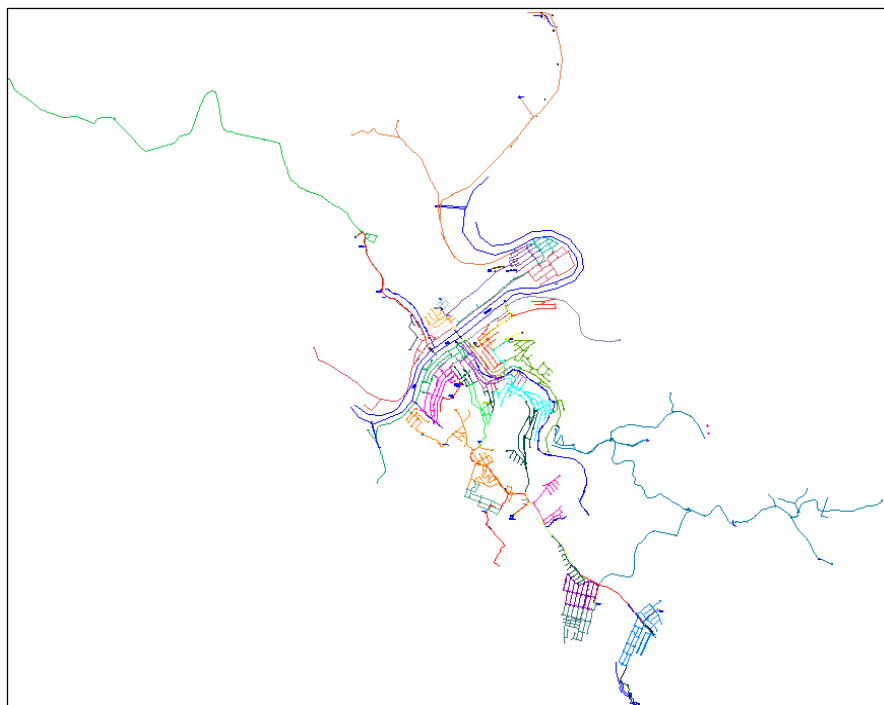


Figura 5.1: Setores de abastecimento de água de Capinzal/Ouro, SC.

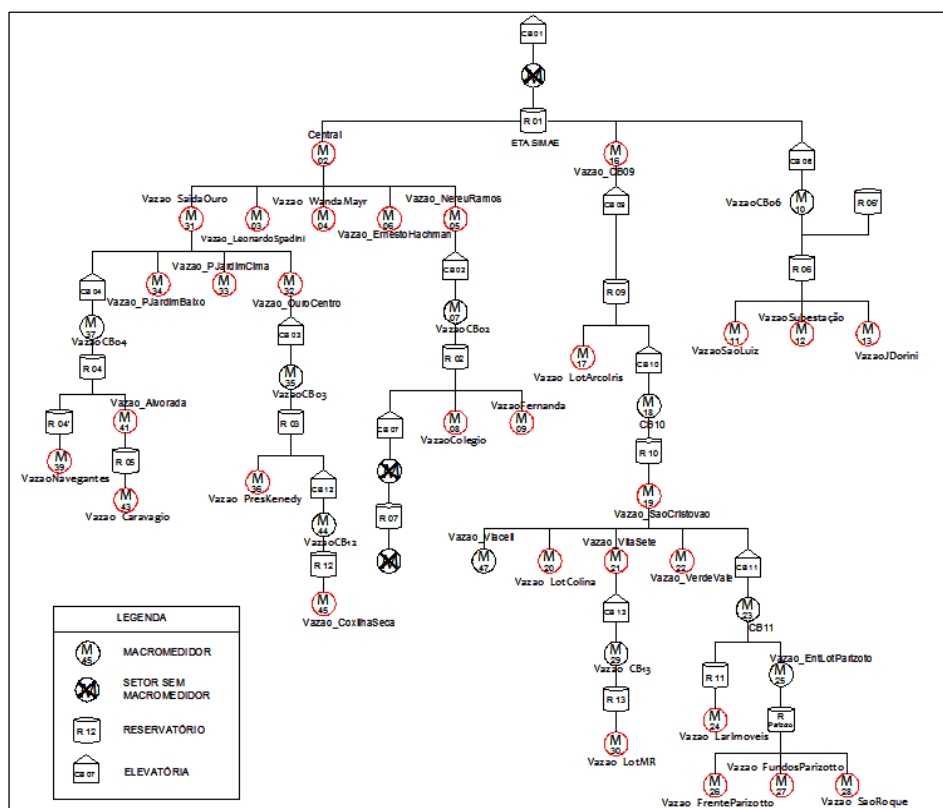


Figura 5.2: Esquema do SAA de Capinzal/Ouro, SC.

Caracterização dos setores

De acordo com os dados fornecidos pela concessionária, para o mês de dezembro de 2008, os dados gerais de abastecimento de água do SIMAE Capinzal/Ouro são mostrados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Dados gerais do SAA Capinzal/Ouro.

SIMAE Capinzal/Ouro		
População	26.000	Habitantes
Ligações	6.578	Unidades
Extensão da rede	145,2	km
Volume de água fornecido	111.248	m³/mês
Consumo de energia	151.868	kWh/mês
Desnível do sistema	220	m
Perdas de água	27	%

Fonte: SIMAE

As informações, por setor operacional, sobre extensão de rede, número de ligações, economias funcionando, população por setor e taxa per capita fornecida, são mostradas na Tabela 5.2. Tais informações são relativas ao sistema para o ano de 2008 e os valores mostrados correspondem ao mês de dezembro/2008.

As informações correspondentes às demandas, volumes fornecidos, submacromedidos, micromedidos e faturados, assim como indicadores relacionados às perdas de água, por setor operacional são mostradas na Tabela 5.3. Tais informações são relativas ao sistema para o ano de 2008 e os valores mostrados correspondem à média entre os meses janeiro/2008 e dezembro/2008.

Tabela 5.2: Informações sobre o SAA Capinzal/Ouro (dez/2008).

Setor Operacional		Extensão da rede (km)	N de ligações	Econ. Funcionando	m de rede/ligação	População/ setor (hab)	Taxa per capita forn (l/hab.d)
M02	Central (Saída Geral)	0,146	17	19	8,59	65	89
M03	Leonardo Spadini	1,622	123	168	13,19	573	148
M04	Wanda Mayr	3,134	160	177	19,59	604	168
M05	Nereu Ramos	6,313	400	586	15,78	1998	135
M06	Ernesto Hachman	4,785	291	409	16,44	1395	137
M08	Colégio	4,604	339	376	13,58	1282	115
M09	Lot. Fernanda	2,643	148	193	17,86	658	159
	Entrada R06 (11+12+13)						
M11	São Luiz	5,296	268	294	19,76	1003	124
M12	Subestação	6,640	421	461	15,77	1572	139
M13	Jacob Dorini	6,290	390	463	16,13	1579	113
M15	Bairro Santa Maria	0,383	17	17	22,53	58	86
M17	Lot. Arco Íris	2,342	164	169	14,28	576	114
M19	São Crsitovão	1,525	37	38	41,22	130	266
M20	Lot. Colina	2,465	228	259	10,81	883	115
M21	Vila Sete	8,661	453	471	19,12	1606	111
M22	Verde Vale	4,308	246	271	17,51	924	121
M24	Lar Imóveis	5,390	293	312	18,40	1064	119
M25	Ent. Lot. Pariotto						
M26	Frente Parizotto	4,799	365	390	13,15	1330	99
M27	Fundos Parizotto	4,350	433	434	10,05	1480	121
M28	São Roque	21,023	104	102	202,14	348	154
M30	Lot. MR	2,360	199	202	11,86	689	102
M31	Saída Ouro	1,108	75	87	14,77	297	164
M32	Centro Ouro	4,951	197	261	25,13	890	116
M33	Parque Jd. Cima	4,227	180	206	23,48	702	123
M34	Parque Jd. Baixo	4,542	198	224	22,94	764	124
M36	Pres. Kenedy	1,465	100	115	14,65	392	109
M38	Navegantes (alto)	0,446	61	64	7,31	218	337
M39	Navegantes (baixo)	1,672	187	209	8,94	713	118
M41	Alvorada	3,796	271	282	14,01	962	121
M43	Caravagio	8,934	71	72	125,83	246	160
M45	Coxilha Seca	9,006	79	79	114,00	269	81
M47	Viaceli	1,910	127	139	15,04	474	194

Fonte: SIMAE

Tabela 5.3: Informações e indicadores sobre o SAA de Capinzal/Ouro (médias ano 2008).

Setor		Demanda (m³/h)	Volumes (m³/mês)					Perdas			
			Fornecido (macro)	Sub Macro- medido	Micro medido	Total	Faturado	m³/mês	(%)	L/lig/dia	L/km/d
M02	Central (Saída Geral)	0,27	49.091	50.040	189	50.229	390	443	1	741	99.145
M03	Leonardo Spadini	2,76	2.713		2.008	2.008	2.282	705	26	189	14.297
M04	Wanda Mayr	2,4	2.918		1.719	1.719	2.165	2.865	60	511	29.787
M05	Nereu Ramos	8,56	16.816	8.041	6.306	14.348	7.627	2.469	15	202	12.812
M06	Ernesto Hachman	6,26	6.276		4.586	4.586	5.531	1.689	27	195	11.600
M08	Colégio	5,2	4.647		3.778	3.778	4.615	869	19	84	6.185
M09	Lot. Fernanda	3,02	3.265		2.319	2.319	2.623	946	29	211	11.724
	Entrada R06 (11+12+13)		17.560	16.773		16.773					
M11	São Luiz	3,75	4.065		2.835	2.835	3.533	1.230	30	154	7.612
M12	Subestação	6,16	6.977		4.653	4.653	5.780	2.323	33	185	11.495
M13	Jacob Dorini	5,68	5.629		4.428	4.428	5.441	1.201	21	105	6.262
M15	Bairro Santa Maria	0,21	210		156	156	264	53	25	102	4.567
M17	Lot. Arco Íris	2,11	2.077		1.587	1.587	2.013	490	24	99	6.855
M19	São Crsitovão	4,63	32.183	29.868	1.198	30.966	617	1.340	4	680	28.852
M20	Lot. Colina	3,32	3.201		2.564	1.923	3.177	478	15		6.359
M21	Vila Sete	5,71	7.592	2.255	4.382	6.637	5.520	1.209	15	95	4.546
M22	Verde Vale	3,41	3.702		2.528	2.528	3.184	1.173	31	158	8.916
M24	Lar Imóveis	6,18	3.473		2.598	2.598	3.505	874	25	101	5.311
M25	Ent. Lot. Pariotto		10.908	10.949		10.949					
M26	Frente Parizotto	4,54	4.072		3.456	3.456	4.443	615	15	56	4.215
M27	Fundos Parizotto	5,16	5.034		3.817	3.817	4.979	1.217	24	93	9.168
M28	São Roque	1,16	1.727		821	821	1.236	906	53	301	1.414
M30	Lot. MR	2,41	2.205		1.834	1.834	2.305	370	17	62	5.143
M31	Saída Ouro	1,23	21.027	19.655	897	20.551	1.044	475	2	211	14.095
M32	Centro Ouro	3,62	5.694	2.585	2.664	5.249	3.407	445	8	75	2.953
M33	Parque Jd. Cima	2,87	2.640		2.098	2.098	2.532	542	20	100	4.207
M34	Parque Jd. Baixo	3,17	2.898		2.339	2.339	2.830	559	19	93	4.029
M36	Pres. Kenedy	1,43	1.388		1.011	1.011	1.329	377	27	123	8.439
M38	Navegantes (alto)	0,76	8.427	7.230	564	7.794	731	634	7	344	46.471
M39	Navegantes (baixo)	2,74	2.699		1.986	1.986	2.508	713	26	125	13.991
M41	Alvorada	3,7	4.531	1.115	2.684	3.799	3.337	732	16	89	6.327
M43	Caravagio	1,1	1.096		875	875	1.071	221	20	109	811
M45	Coxilha Seca	0,9	721		687	687	992	221	24	93	810
M47	Viaceli	1,76	2.092		1.390	1.390	1.715	722	25	185	12.350

Fonte: SIMAE

Os setores são consideravelmente pequenos, atendendo no máximo 2.000 usuários cada. O consumo per capita também é baixo, menor de 150 l/hab.d na maioria dos setores.

As tabelas apresentadas permitem determinar os setores críticos do sistema com relação a perdas de água, vazões fornecidas e população atendida, facilitando as tomadas de decisão para intervenções no sistema.

Alguns setores se mostram com perdas de água bastante reduzidas, enquanto outros ainda demonstram problemas. O acompanhamento dos dados de cada setor periodicamente permite identificar falhas e comportamento do sistema após intervenções. Alguns setores apresentaram altos índices de perdas em determinados meses do ano e que foram reduzidos após concertos de vazamentos, por exemplo.

Caracterização dos Reservatórios

As características gerais dos reservatórios que abastecem o SAA de Capinzal/Ouro são mostradas na Tabela 5.4. Alguns dos reservatórios possuem a função de quebra de pressão, ou seja, reduzem a pressão na rede de distribuição através da modulação de carga. Estes reservatórios possuem a denominação “QP”.

Tabela 5.4: Características dos Reservatórios do SAA Capinzal/Ouro

Reservatório ID/Unidades	Capacidade (m³)	Cota N_Amax (m)	Altura Útil (m)	Diâmetro Útil (m)
RS-1A	400	498,03	2,00	14,00
RS-1B	400	497,94	2,00	14,00
RS-2A	100	561,58	1,80	8,69
RS-2B	30	559,62	1,50	4,06
RS-03	30	565,84	1,45	4,37
RS-04A	500	607,12	4,00	12,33
RS-04QP		558,72	1,60	2,20
RS-05	30	540,17	1,55	5,19
RS-06A	500	605,30	4,10	12,65
RS-06B	50	580,96	2,41	5,23
RS-07	30	609,37	1,70	5,00
RS-09	50	632,82	1,90	5,90
RS-10A	100	713,43	1,97	8,69
RS-10B	500	713,43	4,00	12,30
RS-11	400	767,17	3,65	11,31
RS-12		665,26	1,60	5,11
RS-13	50	732,69	1,95	5,36
R. Parizotto	50	752,68	1,85	6,51
Maximilizano		585,36	2,05	4,53

Os reservatórios possuem controle de nível automático, que determina o ligamento/desligamento das elevatórias (CBs).

Caracterização das CBs

As Estações Elevatórias de Água Tratada, ou Casas de Bomba (CBs), operam automaticamente, controlando os níveis de água nos reservatórios de distribuição. Através de ondas de rádio, os dados de cada CB são encaminhados para um supervisor central, através do qual todo o sistema de abastecimento de água é monitorado e operado.

Para as CBs do SAA Capinzal/Ouro, os dados obtidos do supervisor central, correspondentes às potências e vazões médias fornecidas, assim como a altura geométrica, além dos indicadores de consumo energético, consumo energético normalizado e consumo mensal de energia elétrica são mostrados na Tabela 5.5. Estes dados correspondem ao período de janeiro a dezembro de 2008. As estações CB01 e CB07 não possuem telemetria, o que impossibilitou a obtenção dos dados destas CBs.

Tabela 5.5: Dados das CBs do SAA Capinzal/Ouro (2008).

Descrição		Potência Média	Vazão Média	Alt. Geom.	CE	CEN	Consumo mensal	Funcionamento da bomba
		[kW]	[m³/h]	[m]	[kWh/m³]	[kWh/m³/100m]	[kWh/mês]	[h/d]
CB02	Bomba 01	16,86	27,73	61,58	0,61	0,99	3.925	9,10
	Bomba 02	17,5	31,63		0,55	0,90		
CB03	Bomba 01	7,28	8,00	44	0,91	2,07	2.208	11,00
	Bomba 02	7,24	7,53		0,96	2,19		
CB04*	Bomba 01	44,62	56,38	132,12	0,79	0,60	6.567	5,00
	Bomba 02	42,06	52,86		0,80	0,60		
CB06*	Bomba 01	45,57	45,26	115,3	1,01	0,87	20.111	12,70
	Bomba 02	45,65	46,89		0,97	0,84		
CB09*	Bomba 01	68,23	65,73	156,92	1,04	0,66	36.118	17,70
	Bomba 02	74,2	62,88		1,18	0,75		
CB10*	Bomba 01	34,95	56,58	82,46	0,62	0,75	32.113	18,80
	Bomba 02	33,31	56,48		0,59	0,72		
CB11*	Bomba 01	32,99	54,83	83,52	0,60	0,72	8.845	8,40
	Bomba 02	33,74	52,34		0,64	0,77		
CB12	Bomba 01	4,77	4,69	91,26	1,02	1,11	1.036	7,80
	Bomba 02	4,86	4,06		1,20	1,31		
CB13	Bomba 01	14,46	26,52	63,69	0,55	0,86	1.276	3,00
	Bomba 02	18,53	27,11		0,68	1,07		

(*) CBs de alta tensão.

Fonte: Adaptado de Eleotero (2008).

As CBs com potência menor que 30 kW são consideradas de baixa tensão, e as com mais de 30 kW de potência, de alta tensão. A Figura 5.3 demonstra a distribuição das CBs de acordo com o consumo de energia mensal.

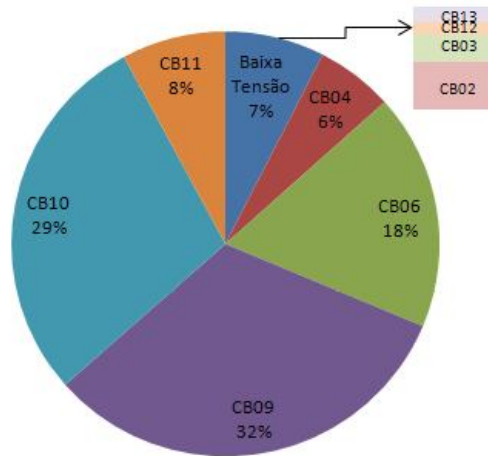


Figura 5.3: Distribuição do consumo de energia nas CBs.
Fonte: Adaptado de Eleotero (2008)

Se observado o consumo energético ($CE - kWh/m^3$) é possível verificar que, dentre as CBs de alta tensão (potência maior que 30 kW), aquela que consome menos energia por m^3 de água recalcada seria a CB10, seguida pela CB11 e a com maior consumo energético seria a CB09. Quando analisado o indicador CEN ($kWh/m^3/100m$), dentre estas mesmas CBs, o consumo energético fica equivalente entre estas, sendo maior para a CB06, utilizando 0,85 kWh para elevar $1 m^3$ de água tratada a uma altura de 100 m.

Para Alegre *et al* (2000), o indicador de consumo energético normalizado (CEN) tem como referência o valor de $0,5 kWh/m^3$ para 100 m. Os valores obtidos para as estações elevatórias analisadas estão todos acima do valor de referência da IWA, acusando assim um excesso de energia consumida em todas estas (ELEOTERO, 2008).

5.2. Desempenho Energético

Devido às altas declividades e diferenças de cotas entre os pontos de abastecimento, o município de Capinzal conta com 11 estações elevatórias, sendo uma para captação de água bruta e outras 10 para recalque de água tratada. Esta situação resulta em elevados gastos com energia elétrica. Além disso, a pressão

fornecida ao sistema logo após o bombeamento faz com que alguns pontos da cidade operem com pressão e energia potencial elevadas.

Devido a sua maior importância para o sistema, serão mostrados inicialmente os resultados correspondentes às CBs de alta tensão, seguidas pelas de baixa tensão.

CBs de alta tensão

A seguir serão mostrados os estudos referentes às CBs de alta tensão: CB-04, CB-06, CB-09, CB-10 e CB-11.

▪ **CB-04**

A CB-04 atende aos setores Navegantes alto e baixo (M38 e M39), Alvorada (M41) e Caravagio (M43), conforme mostrado na Figura 5.4. Em cada entrada para estes bairros há um macromedidor de vazão, o que delimita cada setor. Os reservatórios que abastecem esta região e são o RS-04, RS-05 e RS-04QP. O Reservatório RS-04QP possui a função de quebra de pressão para a localidade de Navegantes, ou seja, não há neste reservatório a função de reservação.

O desnível entre o Reservatório RS-04 e a zona baixa da região abastecida por este é muito alto, elevando as pressões na rede de distribuição. Neste caso, o RS-04QP reduz novamente a pressão para valores exigidos por norma.

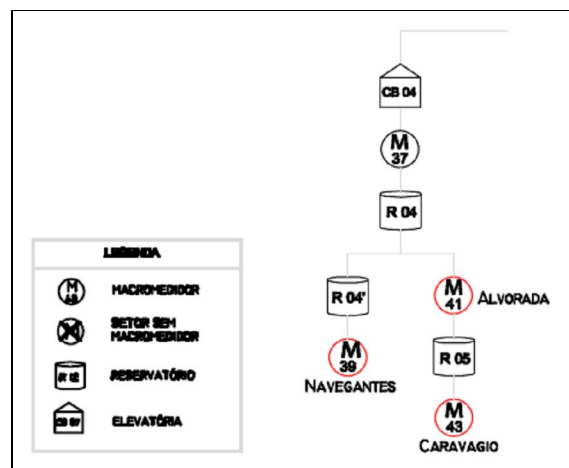


Figura 5.4: Setores atendidos pela CB-04.

Os indicadores de desempenho energético para os setores abastecidos pela CB-04 são mostrados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-04.

Trecho	Demanda (m³/h)	Pmín (kW)	Pforn (kW)	E1 (kWh/m³)	E1N (kWh/m³ /100m)	E2 (kWh/m³)	E2N (kWh/m³ /100m)	E3 (kWh/m³)	E3N (kWh/m³ /100m)
CB04-RS04	8,3	38,613	43,340	0,337	0,248	0,377	0,277	1,122	0,825
RS04-RS04QP	8,3	2,746	6,649	0,278	0,575	0,311	0,643	2,421	5,002
RS04QP-M39	2,74	0,821	3,114	0,537	0,722	0,717	0,963	3,792	5,095
RS04-RS05	8,3	1,306	8,550	0,619	0,830	0,770	1,033	6,545	8,782
RS05-M41	3,7	0,702	4,531	0,515	0,828	0,617	0,992	6,455	10,382
RS05-M43	2,74	0,430	5,435	0,675	0,902	0,848	1,133	12,642	16,896

Os gráficos da Figura 5.5 a Figura 5.10 mostram a diferença entre a potência fornecida e a potência mínima teórica para cada situação.

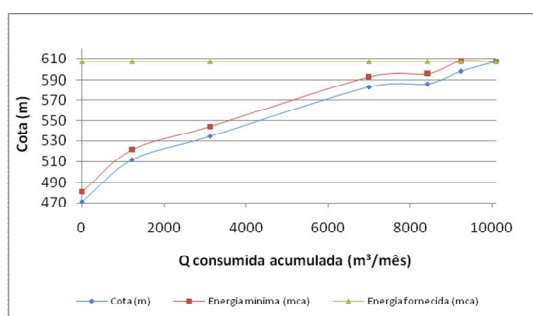


Figura 5.5: CB04-RS04

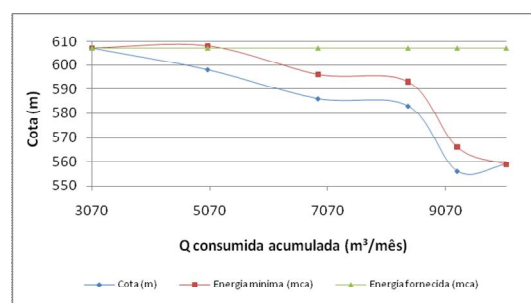


Figura 5.6: RS04-RS04QP

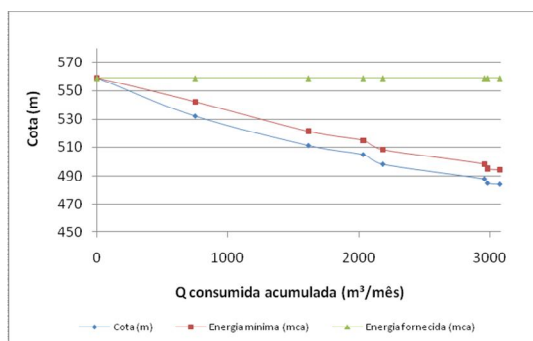


Figura 5.7: RS04-M39

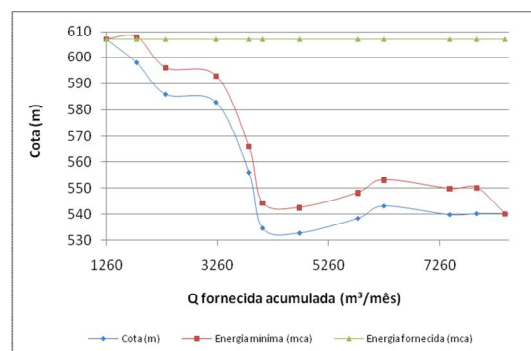


Figura 5.8: RS04-RS05

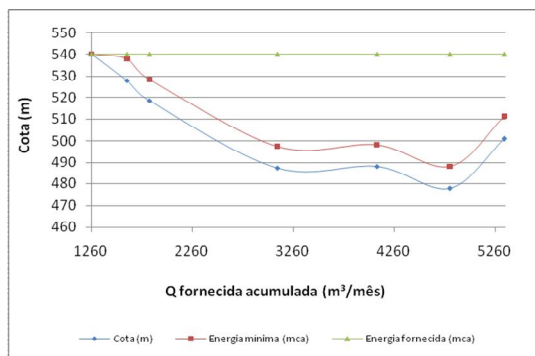


Figura 5.9: RS05- M41

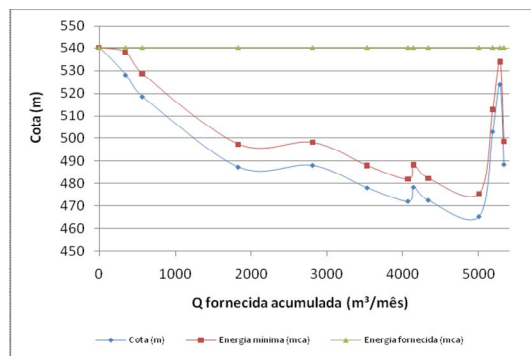


Figura 5.10: RS05-M43

Os gráficos representam o excesso de energia fornecida em cada caso, pela diferença da linha verde com a linha vermelha. A energia mínima necessária é aquela cuja pressão no ponto seja 10mca (no caso do Brasil).

Existe aqui um impasse na concepção dos sistemas de abastecimento de água. Costumeiramente, se gasta grande quantidade de energia para elevar água a um reservatório elevado e depois ser distribuída por gravidade. Se o abastecimento fosse feito em marcha, com menores alturas manométricas, reservatórios em maior número e menor volume, intercalados ao longo do caminho, seriam utilizadas maior número de elevatórias com menores potências e, conseqüentemente, menor consumo energético.

▪ **CB-06**

A estação elevatória CB-06 está localizada junto à ETA, fazendo a sucção diretamente dos reservatórios à jusante da estação. A CB-06 atende aos setores São Luiz (M11), Subestação (M12) e Jacob Dorini (M13), conforme mostrado na Figura 5.11, além da água consumida na estação de tratamento. Na entrada para estes bairros há um macromedidor de vazão, o que delimita cada setor. Os reservatórios que abastecem esta região e são o RS-06 (ou RS-Dorini) e RS-06'.

O Reservatório RS-06 encontra-se na cota 580,96 m e atua com a função de reservar a sobra da água que é recalçada ao RS-06' (cota 605,30 m) e de quebrar a pressão. Como a capacidade do RS-Dorini é pequena (apenas 50 m³), quando ocorre consumo na região reduz-se também o nível do RS-06' (com 500 m³).

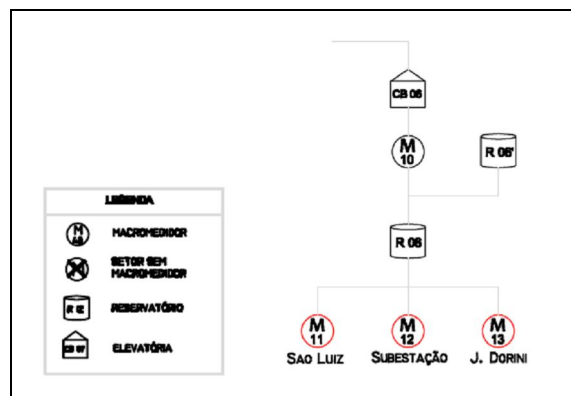


Figura 5.11: Setores atendidos pela CB-06.

Os indicadores de desempenho energético para os setores abastecidos pela CB-06 são mostrados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-06.

Trecho	Demanda (m³/h)	P _{mín} (kW)	P _{for} (kW)	E1 (kWh/m³)	E1N (kWh/m³ /100m)	E2 (kWh/m³)	E2N (kWh/m³ /100m)	E3 (kWh/m³)	E3N (kWh/m³ /100m)
CB06-RSDor	15,59	17,413	45,610	1,070	1,176	1,115	1,226	2,619	2,880
CB06-RS06'	15,59	24,136	45,610	0,815	0,679	0,849	0,708	1,890	1,575
RSDor-M11	3,75	1,352	6,743	0,806	0,784	1,154	1,123	4,988	4,851
RSDor-M12	6,16	2,560	12,976	0,959	0,787	1,407	1,154	5,068	4,156
RSDor-M13	5,68	1,576	7,827	0,756	0,783	0,924	0,957	4,965	5,141

Os gráficos da Figura 5.12 a Figura 5.16 mostram a diferença entre a potência fornecida e a potência mínima teórica para cada situação.

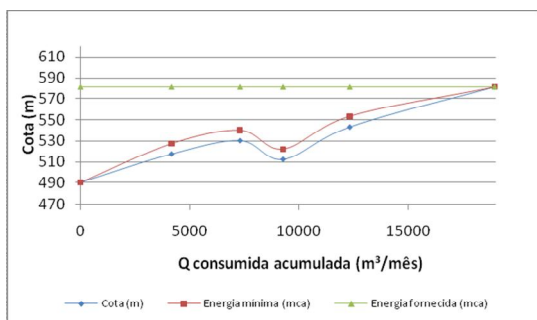


Figura 5.12: CB06-RSDor.

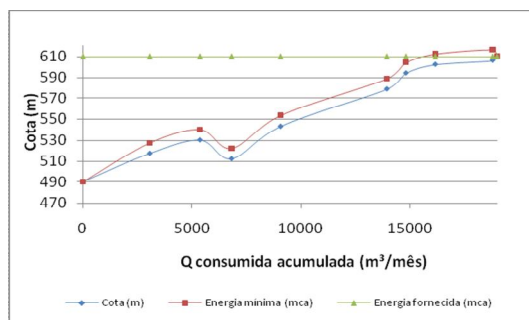


Figura 5.13: CB06-RS06'.

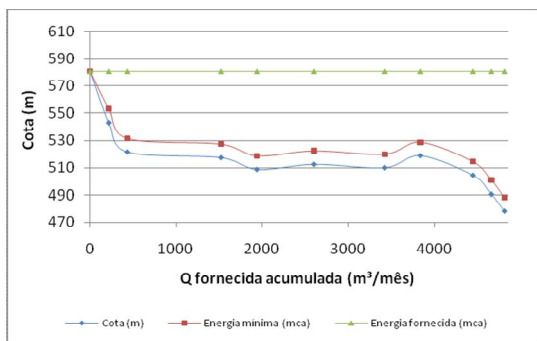


Figura 5.14: RSDor-M11.

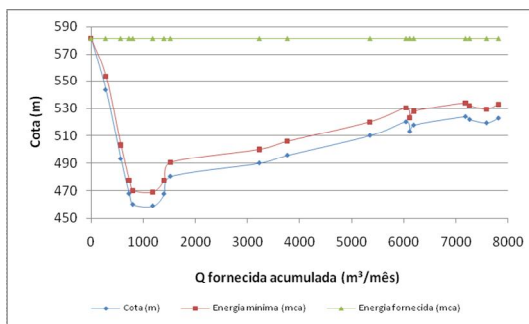


Figura 5.15: RSDor-M12.

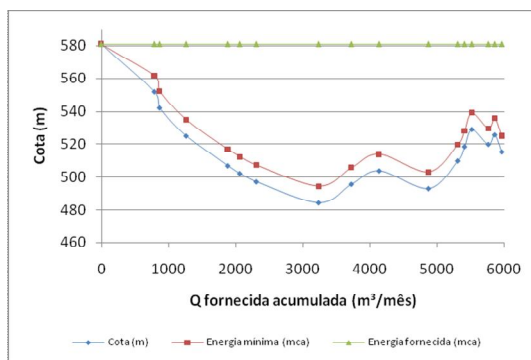


Figura 5.16: RSDor-M13.

▪ **CB-09**

O setor da CB-09 é compreendido pelo somatório dos setores CB-10, CB-11, CB-13 e mais o consumo da localidade do Loteamento Arco Íris (M17), mostrado na Figura 5.17. Esta elevatória fica encarregada de elevar água para a parte mais alta do município, denominada Cidade Alta e é responsável pelo maior consumo energético do sistema.

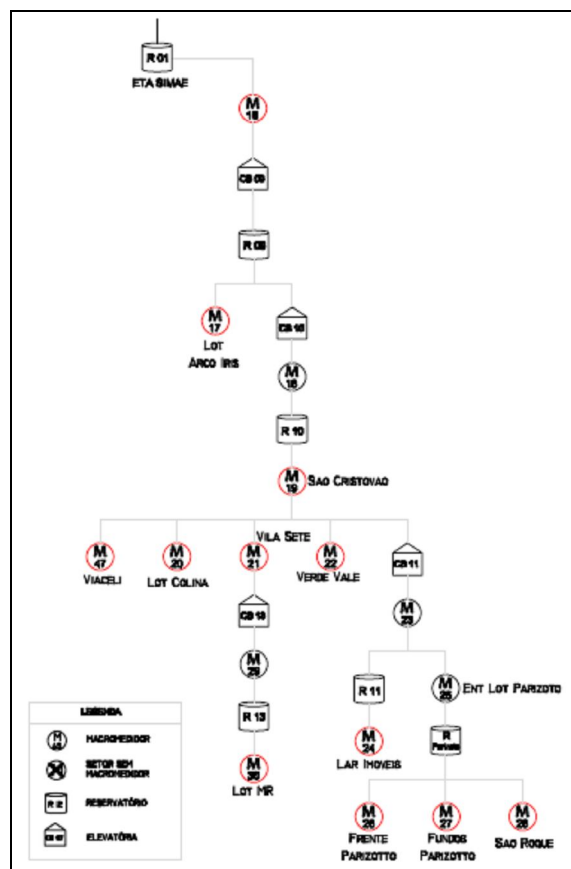


Figura 5.17: Setores atendidos pela CB-09.

Os indicadores de desempenho energético para os setores abastecidos pela CB-09 são mostrados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-09.

Trecho	Demanda (m³/h)	P _{mín} (kW)	P _{for} (kW)	E1 (kWh/m³)	E1N (kWh/m³/100m)	E2 (kWh/m³)	E2N (kWh/m³/100m)	E3 (kWh/m³)	E3N (kWh/m³/100m)
CB09-RS09	40,39	53,063	71,215	0,330	0,207	0,361	0,227	1,342	0,845
RS09-M17	2,11	1,052	3,859	0,843	0,713	1,011	0,855	3,668	3,101

Os gráficos da Figura 5.18 e Figura 5.19 mostram a diferença entre a potência fornecida e a potência mínima teórica para cada situação.

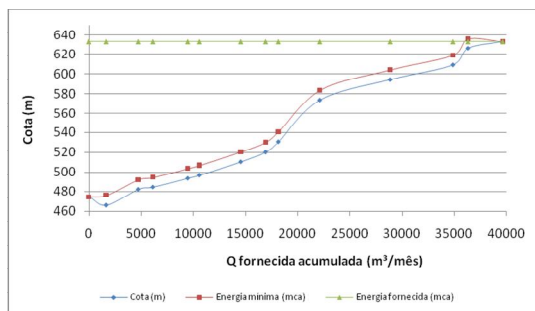


Figura 5.18: CB09-RS09.

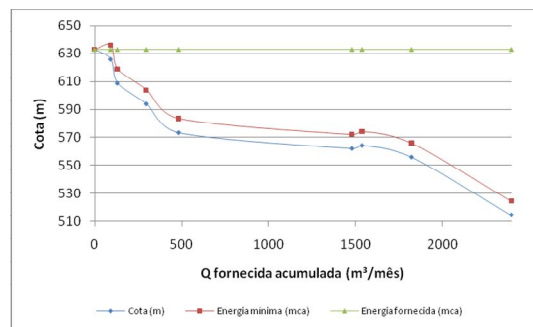


Figura 5.19: RS09-M17

▪ **CB-10**

A elevatória CB-10 recalca água tratada para as elevatórias CB-13 e CB-11, além das localidades São Cristóvão (M19), Viaceli (M47), Loteamento Colina (M20) e Verde Vale (M22). O Reservatório que atende a região é o RS-10. Um esquema da região atendida é mostrado na Figura 5.20. Esta elevatória possui o segundo maior consumo energético do sistema (em kWh/mês).

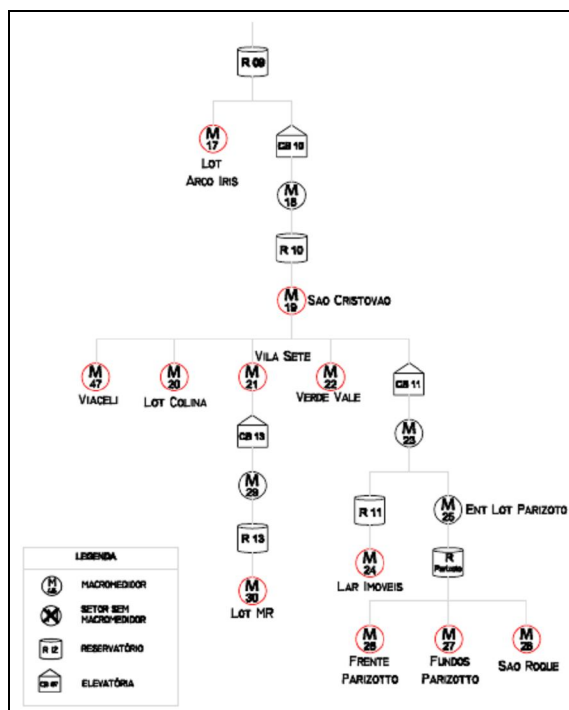


Figura 5.20: Setores atendidos pela CB-10.

Os indicadores de desempenho energético para os setores abastecidos pela CB-10 são mostrados na Tabela 5.9. Os gráficos da Figura 5.21 a Figura 5.23 mostram a diferença entre a potência fornecida e a potência mínima teórica para cada situação.

Tabela 5.9: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-10.

Trecho	Demanda (m³/h)	P _{mín} (kW)	P _{for} (kW)	E1 (kWh/m³)	E1N (kWh/m³/100m)	E2 (kWh/m³)	E2N (kWh/m³/100m)	E3 (kWh/m³)	E3N (kWh/m³/100m)
CB10-RS10	38,28	21,866	34,130	0,237	0,284	0,258	0,309	1,561	1,871
CB10-CB13	2,41	0,416	3,945	0,600	0,877	0,516	0,754	9,480	13,854
R10-M19	4,63	3,761	4,350	0,100	0,133	0,086	0,114	1,157	1,533

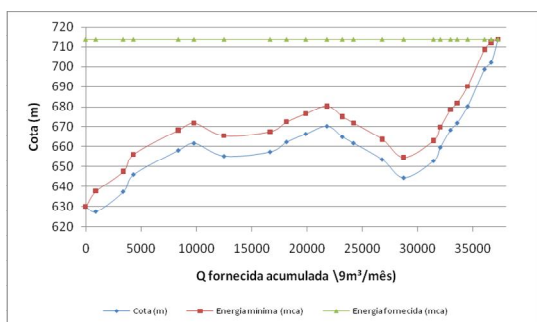


Figura 5.21: CB10-RS10.

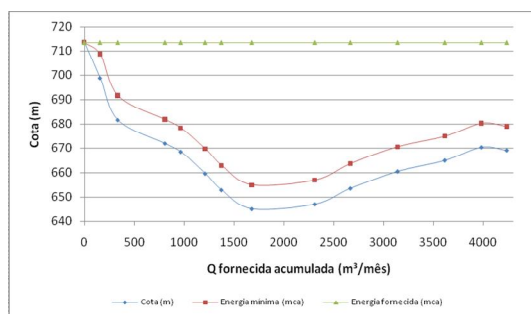


Figura 5.22: CB10-CB13

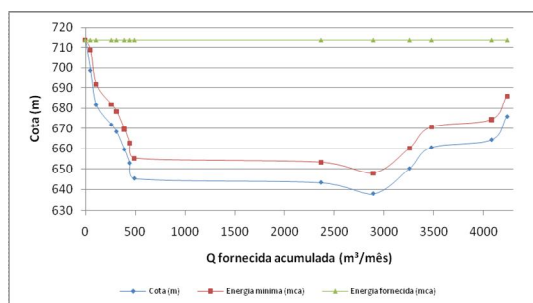


Figura 5.23: RS10-M19.

▪ **CB-11**

A CB-11 recalca água tratada para o Reservatório RS-11 e Reservatório RPazrizotto, que se encontram próximos à entrada do Município. O Reservatório RS-11 abastece o setor Lar Imóveis (M24) e o Reservatório RPazrizotto abastece os setores Frente Parizotto (M26), Fundos Parizotto (M27) e São Roque (M28), mostrado na Figura 5.24.

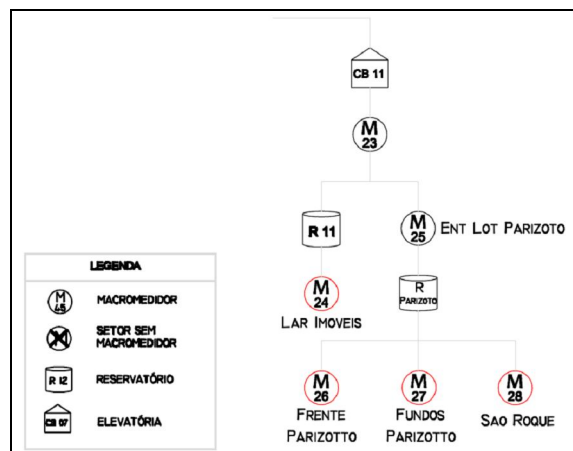


Figura 5.24: Setores atendidos pela CB-11.

A CB-11 recalca água para o RS-11 e para o RS-Parizotto por uma mesma tubulação que se ramifica em certo ponto para o abastecimento destes reservatórios. O RS-11, em cota mais elevada (767,17 m, o ponto de abastecimento mais elevado do município) possui uma capacidade instalada de 400 m³, enquanto que o RS-Parizotto, na cota 752,68 m, possui um volume de 50 m³.

Os indicadores de desempenho energético para os setores abastecidos pela CB-11 são mostrados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-11.

Trecho	Demanda (m ³ /h)	P _{mín} (kW)	P _{forn} (kW)	E1 (kWh/m ³)	E1N (kWh/m ³ /100m)	E2 (kWh/m ³)	E2N (kWh/m ³ /100m)	E3 (kWh/m ³)	E3N (kWh/m ³ /100m)
CB11-RParizotto	17,04	9,281	33,365	1,442	1,860	1,367	1,763	3,595	4,637
CB11-RS11	17,04	14,643	33,365	0,837	0,909	0,862	0,937	2,279	2,476
Rparizotto-M26	4,54	1,406	3,846	0,392	0,622	0,467	0,742	2,736	4,341
Rparizotto-M27	5,16	1,383	7,299	0,721	0,794	0,930	1,024	5,276	5,809
Rparizotto-M28	1,16	1,046	6,485	1,794	0,822	2,854	1,308	6,199	2,841
RS11-M24	6,18	0,435	2,090	0,292	0,776	0,404	1,074	4,801	12,766

Os gráficos da Figura 5.25 a Figura 5.30 mostram a diferença entre a potência fornecida e a potência mínima teórica para cada situação.

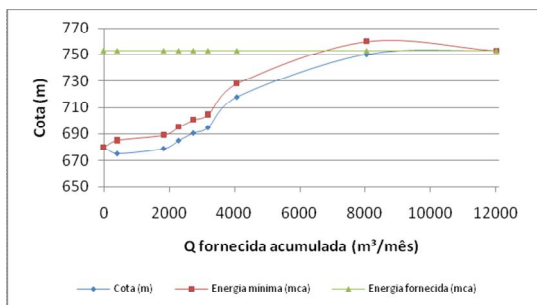


Figura 5.25: CB11-RParizotto.

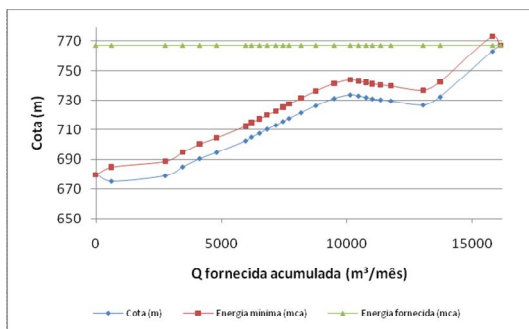


Figura 5.26: CB11-RS11

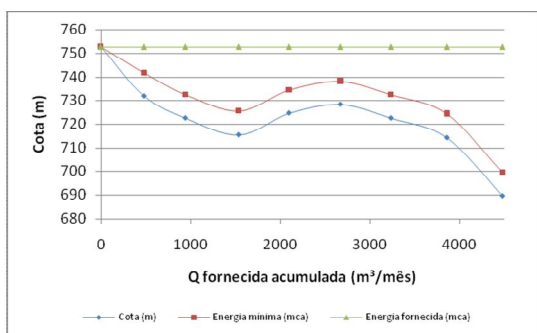


Figura 5.27: RParizotto-M26.

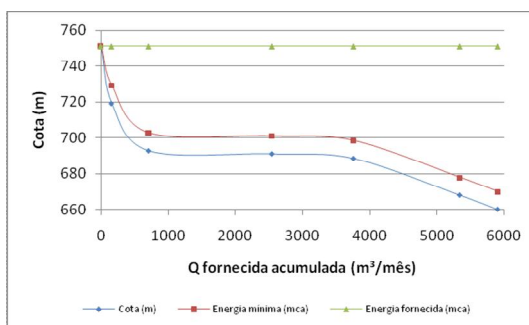


Figura 5.28: RParizotto-M27.

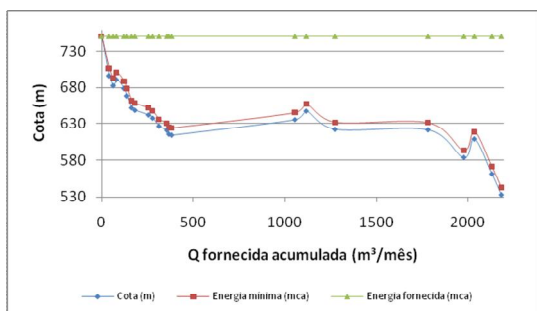


Figura 5.29: RParizotto-M28.

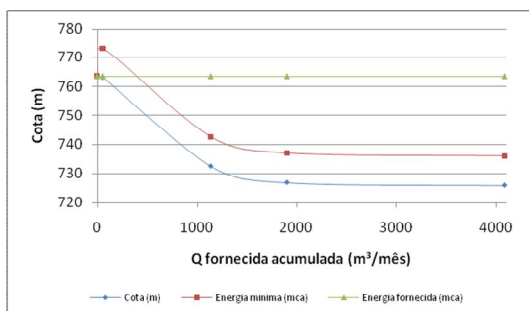


Figura 5.30: RS11-M24.

CBs de baixa tensão

A seguir serão mostrados os estudos referentes às CBs de baixa tensão: CB-02, CB-03, CB-12 e CB-13.

▪ **CB-02**

A CB-02 recalca água tratada até o Reservatório RS-02. A partir de então, a água é distribuída por gravidade para os setores Colégio (M08) e Loteamento Fernanda (M09), além da CB-07, que recalca água para o Reservatório RS-07,

mostrado na Figura 5.31. Não existem dados de telemetria sobre a CB-07. Desta forma, ela não será abordada neste trabalho.

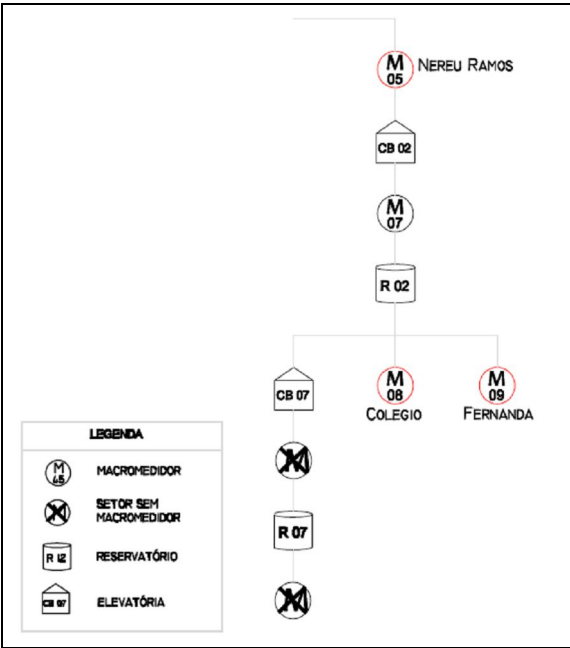


Figura 5.31: Setores atendidos pela CB-02.

Os indicadores de desempenho energético para os setores abastecidos pela CB-02 são mostrados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-02.

Trecho	Demanda (m³/h)	Pmín (kW)	Pforn (kW)	E1 (kWh/m³)	E1N (kWh/m³ /100m)	E2 (kWh/m³)	E2N (kWh/m³ /100m)	E3 (kWh/m³)	E3N (kWh/m³ /100m)
CB02-RS02	8,43	7,201	17,180	0,406	0,659	0,467	0,758	2,386	3,874
RS02-M08	5,2	1,168	6,721	0,754	0,810	0,916	0,984	5,755	6,181
RS02-M09	3,02	1,018	3,589	0,492	0,702	0,687	0,980	3,525	5,029

Os gráficos da Figura 5.32 a Figura 5.34 mostram a diferença entre a potência fornecida e a potência mínima teórica para cada situação.

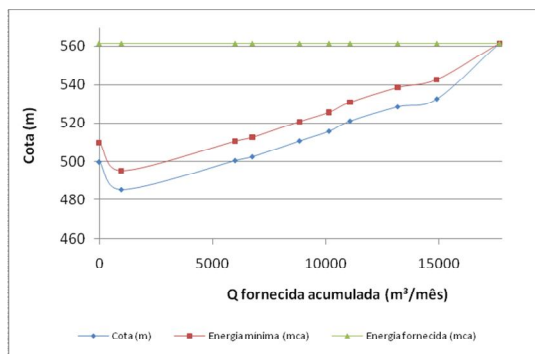


Figura 5.32: CB02-RS02.

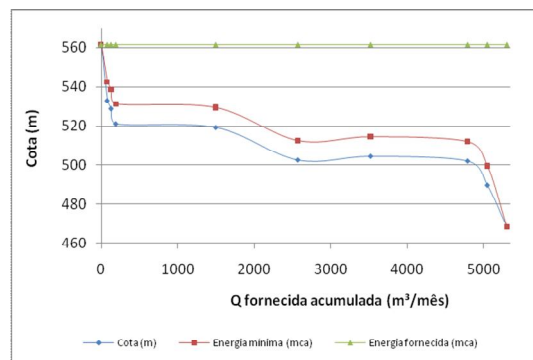


Figura 5.33: RS02-M08.

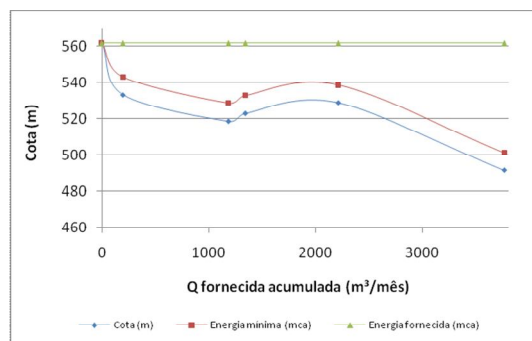


Figura 5.34: RS02-M39.

▪ CB-03

A CB-03 alimenta o Reservatório RS-03 e, a partir deste, a localidade Presidente Kenedy (M36) e a CB-12, como mostrado na Figura 5.35.

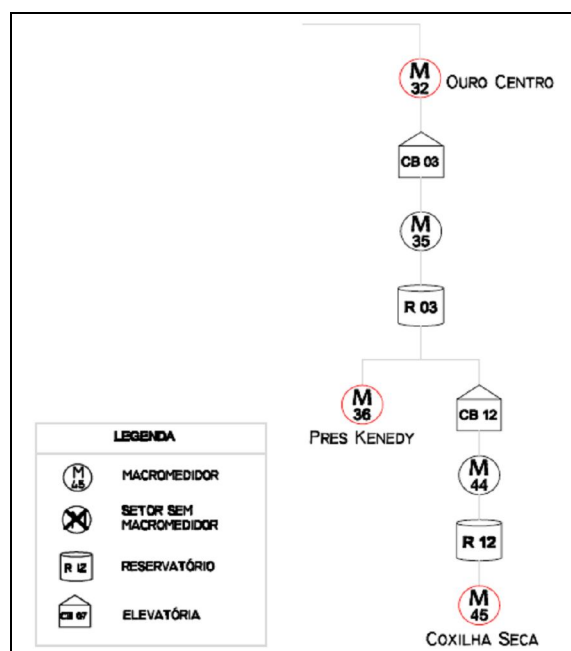


Figura 5.35: Setores atendidos pela CB-03.

Os indicadores de desempenho energético para os setores abastecidos pela CB-03 são mostrados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-03.

Trecho	Demanda (m³/h)	P _{mín} (kW)	P _{for} (kW)	E1 (kWh/m³)	E1N (kWh/m³ /100m)	E2 (kWh/m³)	E2N (kWh/m³ /100m)	E3 (kWh/m³)	E3N (kWh/m³ /100m)
CB03-RS03	2,33	5,551	7,260	0,444	0,397	0,566	0,506	1,308	1,169
RS03-M36	1,43	0,313	1,559	0,540	0,783	0,725	1,052	4,981	7,225

Os gráficos da Figura 5.36 a Figura 5.37 mostram a diferença entre a potência fornecida e a potência mínima teórica para cada situação.

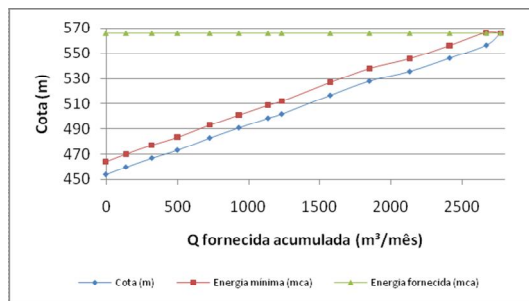


Figura 5.36: CB03-RS03.

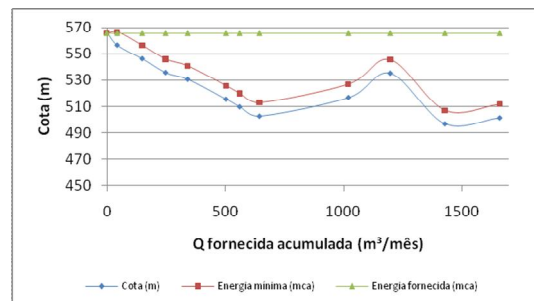


Figura 5.37: RS03-M36.

▪ CB-12

A CB-12 alimenta o Reservatório RS-12 e, a partir de então, a localidade de Coxilha Seca (M45), como mostrado na .

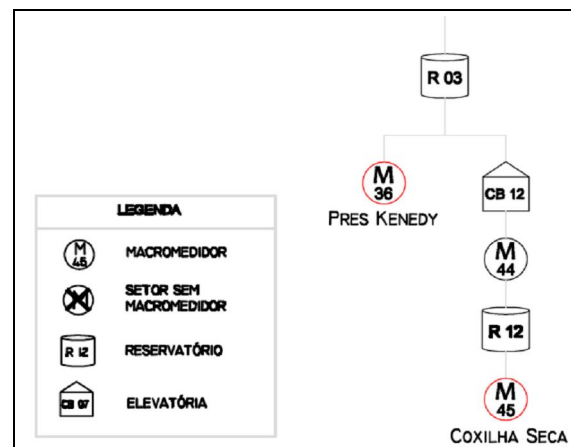


Figura 5.38: Setores atendidos pela CB-12.

Os indicadores de desempenho energético para os setores abastecidos pela CB-12 são mostrados na Tabela 5.13.

Tabela 5.13: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-12.

Trecho	Demanda (m³/h)	P _{mín} (kW)	P _{for} (kW)	E1 (kWh/m³)	E1N (kWh/m³ /100m)	E2 (kWh/m³)	E2N (kWh/m³ /100m)	E3 (kWh/m³)	E3N (kWh/m³ /100m)
CB12-RS12	0,9	1,519	4,815	2,142	2,115	2,533	2,501	3,170	3,131
RS12-M45	0,9	0,575	2,136	1,014	0,716	1,199	0,847	3,712	2,621

Os gráficos da Figura 5.39 a Figura 5.40 mostram a diferença entre a potência fornecida e a potência mínima teórica para cada situação.

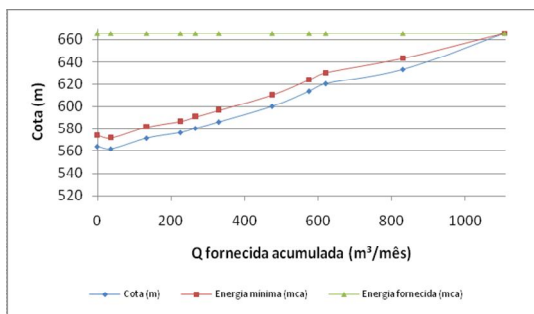


Figura 5.39: CB12-RS12.

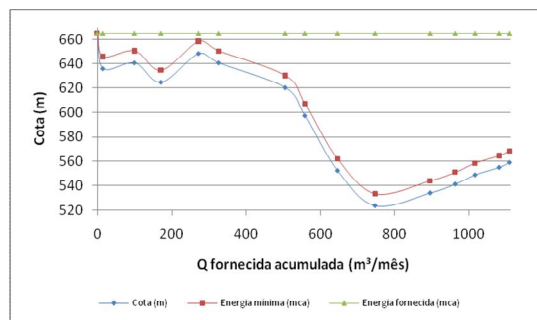


Figura 5.40: RS12-M45.

▪ **CB-13**

A CB-13 recalca água para o Reservatório RS-13 e, então, para o Loteamento MR (M30), como mostrado na Figura 5.41.

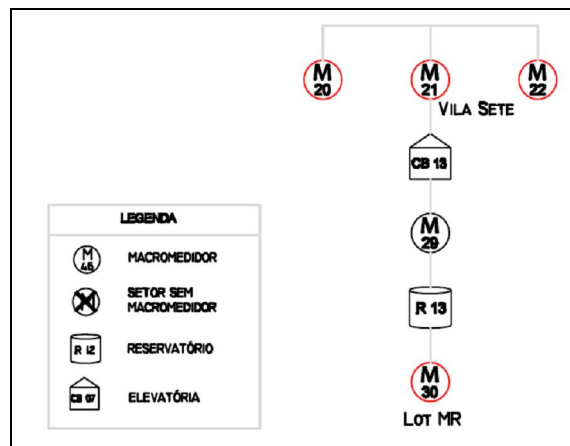


Figura 5.41: Setores atendidos pela CB-13.

Os indicadores de desempenho energético para os setores abastecidos pela CB-13 são mostrados na Tabela 5.14.

Tabela 5.14: Indicadores de desempenho energético dos setores atendidos pela CB-13.

Trecho	Demanda (m³/h)	P _{mín} (kW)	P _{forn} (kW)	E1 (kWh/m³)	E1N (kWh/m³ /100m)	E2 (kWh/m³)	E2N (kWh/m³ /100m)	E3 (kWh/m³)	E3N (kWh/m³ /100m)
CB13-RS13	2,41	7,654	16,495	2,353	3,695	3,143	4,935	2,155	3,384
RS13-M30	2,41	0,408	1,958	0,413	0,776	0,551	1,036	4,799	9,023

Os gráficos da Figura 5.42 e Figura 5.43 mostram a diferença entre a potência fornecida e a potência mínima teórica para cada situação.

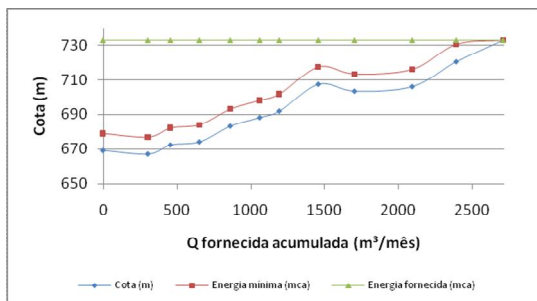


Figura 5.42: CB13-RS13.

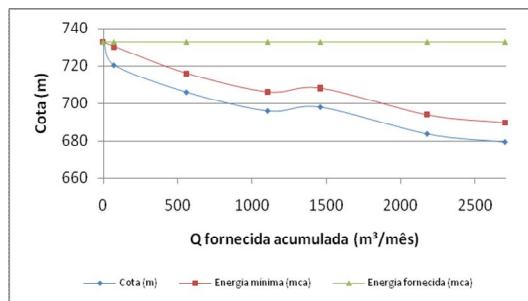


Figura 5.43: RS13-M30.

Quadro geral de desempenho energético

Um quadro resumo dos indicadores de desempenho energético de cada setor é mostrado na Tabela 5.15. Os valores estão ordenados em forma decrescente, mostrando inicialmente os setores com maiores valores, ou seja, os menos eficientes energeticamente.

Tabela 5.15: Quadro resumo dos indicadores de desempenho energético em ordem decrescente.

Setor	P _{mín}	P _{forn}	E1	E1N	E2	E2N	E3	E3N
CB13-RS13	7,654	16,495	2,353	3,695	3,143	4,935	2,155	3,384
CB12-RS12	1,52	4,82	2,14	2,12	2,53	2,50	3,17	3,131
CB11-Rparizotto	9,281	33,365	1,442	1,860	1,367	1,763	3,595	4,637
CB06-RSDor	17,413	45,610	1,070	1,176	1,115	1,226	2,619	2,880
CB11-RS11	14,643	33,365	0,837	0,909	0,862	0,937	2,279	2,476
RS05-M43	0,430	5,435	0,675	0,902	0,848	1,133	12,642	16,896
RS10-CB13	0,416	3,945	0,600	0,877	0,516	0,754	9,480	13,854
RS04-RS05	1,306	8,550	0,619	0,830	0,770	1,033	6,545	8,782
RS05-M41	0,702	4,531	0,515	0,828	0,617	0,992	6,455	10,382
Rparizotto-M28	1,046	6,485	1,794	0,822	2,854	1,308	6,199	2,841
RS02-M08	1,168	6,721	0,754	0,810	0,916	0,984	5,755	6,181
Rparizotto-M27	1,383	7,299	0,721	0,794	0,930	1,024	5,276	5,809
RSDor-M12	2,560	12,976	0,959	0,787	1,407	1,154	5,068	4,156
RSDor-M11	1,352	6,743	0,806	0,784	1,154	1,123	4,988	4,851
RS03-M36	0,313	1,559	0,540	0,783	0,725	1,052	4,981	7,225
RSDor-M13	1,576	7,827	0,756	0,783	0,924	0,957	4,965	5,141
RS11-M24	0,435	2,090	0,292	0,776	0,404	1,074	4,801	12,766
CB13-M30	0,408	1,958	0,413	0,776	0,551	1,036	4,80	9,023

RS04-M39	0,821	3,114	0,537	0,722	0,717	0,963	3,792	5,095
RS12-M45	0,575	2,136	1,014	0,716	1,199	0,847	3,712	2,621
RS09-M17	1,052	3,859	0,843	0,713	1,011	0,855	3,668	3,101
RS02-M09	1,018	3,589	0,492	0,702	0,687	0,980	3,525	5,029
CB06-RS06'	24,136	45,610	0,815	0,679	0,849	0,708	1,890	1,575
CB02-RS02	7,201	17,180	0,406	0,659	0,467	0,758	2,386	3,874
Rparizotto-M26	1,406	3,846	0,392	0,622	0,467	0,742	2,736	4,341
RS04-RS04QP	2,746	6,649	0,278	0,575	0,311	0,643	2,421	5,002
CB03-RS03	5,551	7,260	0,444	0,397	0,566	0,506	1,308	1,169
CB10-RS10	21,866	34,130	0,237	0,284	0,258	0,309	1,561	1,871
CB04-RS04	38,613	43,340	0,337	0,248	0,377	0,277	1,122	0,825
CB09-RS09	53,063	71,215	0,330	0,207	0,361	0,227	1,342	0,845
R10-M19	3,761	4,350	0,100	0,133	0,086	0,114	1,157	1,533

Os valores entre CBs e reservatórios indicam excesso de energia utilizada nos conjuntos motor-bomba. Nos trechos entre os reservatórios e os setores atendidos, estes valores indicam o excesso de energia potencial fornecida pela cota do reservatório. Neste caso, o excesso de energia pode representar pressão elevada em pontos baixos dos setores.

Se analisadas apenas as regiões com CBs de alta tensão que consomem maior energia e, conseqüentemente, mais importantes para este estudo, teremos o quadro mostrado na Tabela 5.16.

Tabela 5.16: Quadro resumo dos indicadores de desempenho energético para os setores de alta tensão.

Trecho	Pmín	Pforn	E1	E1N	E2	E2N	E3	E3N	Potencial teórico de redução energética	
	[kW]	[kW]	[kWh/m³]	[kWh/m³ /100m]	[kWh/m³]	[kWh/m³ /100m]	[kWh/m³]	[kWh/m³ /100m]	[kWh/ano]	[R\$/ano]
CB11-Rparizotto	9,281	33,365	1,442	1,860	1,367	1,763	3,595	4,637	268.394	43.181,91
CB06-RSDor	17,413	45,610	1,070	1,176	1,115	1,226	2,619	2,880	267.831	43.091,35
CB11-RS11	14,64	33,37	0,84	0,91	0,86	0,94	2,28	2,48	175.785	28.282,10
RS05-M43	0,430	5,435	0,675	0,902	0,848	1,133	12,642	16,896	57.798	9.299,19
RS10-CB13	0,416	3,945	0,600	0,877	0,516	0,754	9,480	13,854	44.561	7.169,38
RS04-RS05	1,306	8,550	0,619	0,830	0,770	1,033	6,545	8,782	83.970	13.509,96
RS05-M41	0,702	4,531	0,515	0,828	0,617	0,992	6,455	10,382	53.209	8.560,85
Rparizotto-M28	1,046	6,485	1,794	0,822	2,854	1,308	6,199	2,841	21.531	3.464,10
Rparizotto-M27	1,383	7,299	0,721	0,794	0,930	1,024	5,276	5,809	56.271	9.053,52
RSDor-M12	2,560	12,976	0,959	0,787	1,407	1,154	5,068	4,156	73.790	11.872,02
RSDor-M11	1,352	6,743	0,806	0,784	1,154	1,123	4,988	4,851	45.300	7.288,33
RSDor-M13	1,576	7,827	0,756	0,783	0,924	0,957	4,965	5,141	55.925	8.997,75
RS11-M24	0,435	2,090	0,292	0,776	0,404	1,074	4,801	12,77	38.016	6.116,32
RS04-M39	0,821	3,114	0,537	0,722	0,717	0,963	3,792	5,095	26.616	4.282,20
RS09-M17	1,052	3,859	0,843	0,713	1,011	0,855	3,668	3,101	20.503	3.298,74
CB06-RS06'	24,136	45,610	0,815	0,679	0,849	0,708	1,890	1,575	154.611	24.875,30
Rparizotto-M26	1,406	3,846	0,392	0,622	0,467	0,742	2,736	4,341	33.458	5.383,09
RS04-RS04QP	2,746	6,649	0,278	0,575	0,311	0,643	2,421	5,002	69.667	11.208,72
CB10-RS10	21,866	34,130	0,237	0,284	0,258	0,309	1,561	1,871	127.005	20.433,88
CB04-RS04	38,613	43,340	0,337	0,248	0,377	0,277	1,122	0,825	30.004	4.827,39
CB09-RS09	53,063	71,215	0,330	0,207	0,361	0,227	1,342	0,845	98.748	15.887,58
R10-M19	3,761	4,350	0,100	0,133	0,086	0,114	1,157	1,533	6.746	1.085,41

O sistema mostra valores altos com relação ao indicador E1N (kWh/m^3 de água entrada no sistema/100m), correspondente à gestão da energia fornecida (P_{forn}), tais como a seleção do conjunto motor-bomba ou às cotas dos reservatórios. Os trechos CB11-RParizoto e CB06-RSDorini apresentam valores superior 1 kWh/m^3 de água entrada no sistema/100m. Isto significa que, nestes casos, os conjuntos motor-bomba estão superdimensionados e os reservatórios estão em cotas acima da necessária.

O indicador E2N (kWh/m^3 de água faturada/100m), corresponde às medidas de controle de perdas de água e como estas influenciam no uso de energia do sistema. É possível perceber um desperdício de energia que é fornecida para o abastecimento de água que é perdida. Com estes valores observa-se que medidas de controle de perdas poderiam reduzir a vazão fornecida, para atender a uma mesma demanda e, conseqüentemente, reduzir a potência fornecida necessária e o consumo de energia.

O indicador E3N indica a relação entre a energia fornecida e a energia mínima necessária para cada trecho, permitindo uma interpretação do excesso de energia fornecido. Em muitos casos a energia fornecida vai muito além da mínima teórica necessária. Porém não é visível uma relação entre E1 e E2 com E3.

O potencial teórico de redução de energia apresentado na tabela relaciona o indicador E2N (excesso de energia fornecida ao sistema) com a vazão faturada. Quanto maior o indicador e maior a vazão faturada do trecho, maior será o potencial teórico de redução de energia. Para tal foi considerada a tarifa convencional A4 para consumidores de alta tensão de R\$ 0,16089/kWh (CELESC, 2009).

Com os valores mostrados, conclui-se que os setores com maior potencial teórico de redução de energia, conseqüentemente, menos eficientes do SAA de Capinzal/Ouro são os trechos a partir das elevatórias CB-11e CB-06 até os reservatórios RS-Parizotto e RS-Dorini, respectivamente.

A CB-11 recalca água para o RS-11 (Figura 5.45) em cota mais elevada (767,17 m, com 400 m^3) e para o RS-Parizotto (cota 752,68 m e 50 m^3) (Figura 5.46) por uma mesma tubulação que se ramifica em certo ponto para o abastecimento destes reservatórios. Quando o nível do RS-Parizotto diminui, a água é derivada do RS-11 diminuindo seu nível mesmo que não haja consumo no setor Lar Imóveis (M24). Existe aqui um desperdício de energia ao recalcar água da CB-11 até o RS-11

para ser consumida pelos setores abastecidos pelo RS-Parizotto, como pode ser observado na Figura 5.44.

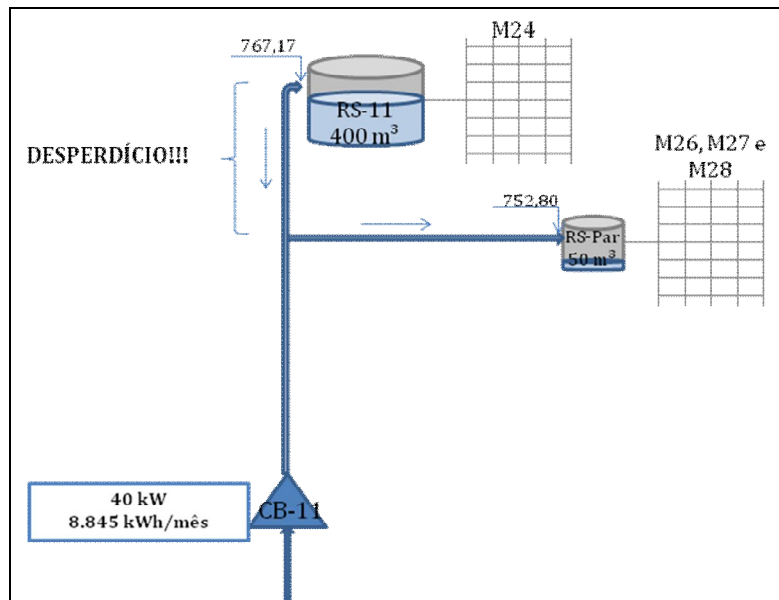


Figura 5.44: Transporte de água entre RS-11 e RS-Parizotto.



Figura 5.45: RS-11: 400 m³.



Figura 5.46: RS-Parizotto: 50 m³.

Diferentemente do resultado mostrado no quadro de caracterização das CBs, aqui a CB-11 não se mostra eficiente. O indicador CEN analisa apenas a relação entre a potência fornecida pelo conjunto motor-bomba e o volume de água recalado, não considerando se este volume é o necessário ou excessivo para atender a demanda. Os indicadores propostos por Duarte (2008) e estudados neste trabalho analisam a situação como um todo, levando em consideração aspectos como vazão fornecida, perdas de água, demanda necessária, geografia do terreno, etc.

No caso da CB-11, os indicadores de Duarte (2008) apresentam um desperdício de energia ao se recalcar água a uma altura desnecessária, pois seu consumo se dará em cota inferior. Os indicadores condizem com a realidade do local. Esta observação não pode ser feita apenas pelo indicador CEN ($\text{kWh/m}^3/100\text{m}$).

A ineficiência observada na CB-06 se refere ao fato desta recalcar água até um reservatório mais elevado (RS-06'), depois para outro reservatório em cota inferior, RS-Dorini, para só a partir de então ser consumida (Figura 5.47). Toda a energia potencial entre o RS-06' e o RS-Dorini é perdida e a energia gasta acaba sendo desperdiçada, principalmente por não existir consumo de água entre os dois reservatórios. No entanto, o terreno do RS-Dorini é pequeno, o que dificulta a sua ampliação. Além disso, a CB-06 é responsável pelo consumo de água na ETA, necessitando assim de uma potência maior.



Figura 5.47: RS-Dorini e, ao fundo junto à torre, RS-06.

5.3. Proposições para melhoria da eficiência energética

De maneira geral, para as regiões consideradas ineficientes energeticamente (aquelas abastecidas pela CB-06 e CB-11) é possível propor a substituição da casa de bomba (CB) por outras duas CBs com potências menores.

No caso da CB-11, a potência média fornecida pelo conjunto motor-bomba é de 33,36 kW, totalizando um consumo médio mensal de 8.845 kWh. A água é recalçada para dois reservatórios, sendo um denominado RS-11 na cota 767,17 m, com 400 m³ de capacidade e o outro denominado RS-Parizotto, na cota 752,68 m com 50 m³ de volume. O maior consumo se dá na região abastecida pelo RS-

Parizotto, o que faz a água recalçada até o RS-11 ser encaminhada por gravidade ao RS-Parizotto.

Para o setor Lar Imóveis (M24) existe a proposta de implantação de loteamento com 2.000 lotes, o que exige a ampliação futura do sistema. O terreno que abriga o Reservatório RS-Parizotto possui espaço para sua ampliação, inclusive já existe projeto e orçamento para tal, com uma nova capacidade de 500 m³.

Os dados obtidos no software EPANET mostram que a pressão com que a água chega até a CB-11 é consideravelmente elevada (mostrada na Figura 5.48), o que permitiria o deslocamento da CB.

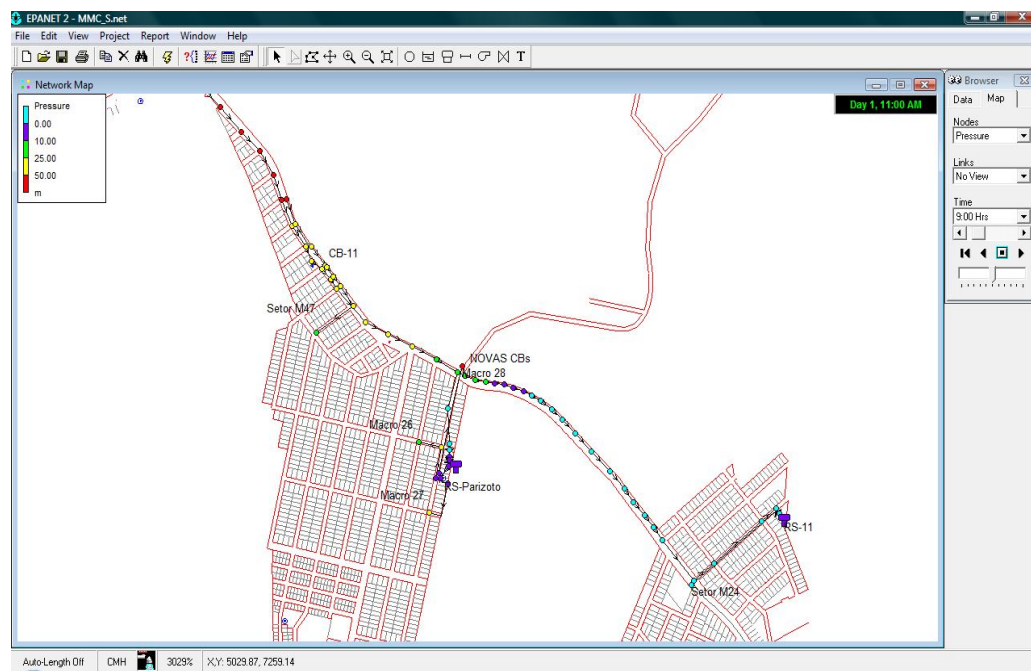


Figura 5.48: Pressão na entrada da CB-11 maior que 25 mca.

Neste caso, foi considerada a substituição da CB-11 por duas novas CBs: a CB-Lar que recalcaria água tratada apenas para o RS-11, e a CB-Par que recalcaria água tratada apenas para o reservatório RS-Parizotto, aqui considerado já com seu novo volume. Ambas CBs estariam em cota aproximada de 694 m.

Considerando um período de projeto para estações de bombeamento de 10 anos (GOMES, 2005) e uma taxa de crescimento anual para Capinzal de 1,59% a.a. (IBGE, 2009), as potências para as novas CBs (CB-Par e CB-Lar, respectivamente) são mostradas na Tabela 5.17 e na Tabela 5.18. Foram considerados conjuntos mais

eficientes, de alto rendimento ($n=0,8$). Para o dimensionamento da CB-Lar foi considerado a inserção do novo loteamento, o que aumenta a população de projeto.

Tabela 5.17: Dimensionamento da CB-Parizotto.

<i>Vazão de projeto</i>			
1ª etapa	Q1	3,62	[l/s]
2ª etapa	Q2	4,24	[l/s]
<i>Adutora</i>			
Extensão	L	304	[m]
Diâmetro	D	100	[mm]
Rugosidade	C	160	[-]
Desnível geométrico	Hg	58	[m]
<i>Numero de conjuntos</i>			
1ª etapa	n1	1	[ud]
2ª etapa	n2	2	[ud]
<i>Potência da CB</i>			
Volume diário	Vd	312,768	[m³/d]
Horas funcionamento bomba (1ª etapa)	t	10	[h]
Vazão bombeamento	Qb	31,28	[m³/h]
		8,688	[l/s]
Perda de carga distribuída	Hf	3,087	[mca]
Altura manométrica	Hman	61,087	[mca]
Potência	P	6,501*	[kW]
		8,842	[cv]
Consumo de energia 1ª etapa	C	1950,425*	[kWh/mês]
Horas funcionamento bomba (2ª etapa)	t	11,71	[h]
Consumo de energia 2ª etapa	C	2283,699	[kWh/mês]

(*) Após teste com indicadores foi adotada uma potência de 10 kW, com consumo mensal de 3000 kWh.

Tabela 5.18: Dimensionamento da CB-Lar Imóveis.

<i>Vazão de projeto</i>			
1ª etapa	Q1	2,06	[l/s]
2ª etapa	Q2	15,50	[l/s]
<i>Adutora</i>			
Extensão	L	1272	[m]
Diâmetro	D	100	[mm]
Rugosidade	C	160	[-]
Desnível geométrico	Hg	72	[m]
<i>Numero de conjuntos</i>			
1ª etapa	n1	1	[ud]
2ª etapa	n2	2	[ud]
<i>Potencia da CB</i>			
Volume diário	Vd	177,984	[m³/d]
Horas funcionamento bomba (1ª etapa)	t	10	[h]

Vazão bombeamento	Qb	17,80	[m³/h]
		4,94	[l/s]
Perda de carga distribuída	Hf	4,55	[mca]
Altura manométrica	Hman	76,55	[mca]
Potência	P	4,64	[kW]
		6,31	[cv]
Consumo de energia 1ª etapa	C	1390,9	[kWh/mês]
Horas funcionamento bomba (2ª etapa)	t	75,22	[h]
Projetar nova bomba para 2ª etapa!!			

Com este dimensionamento as novas CBs passariam a ser consideradas de baixa tensão. A mudança nas potências das novas CBs pode ser observada nos gráficos da Figura 5.49 e Figura 5.50.

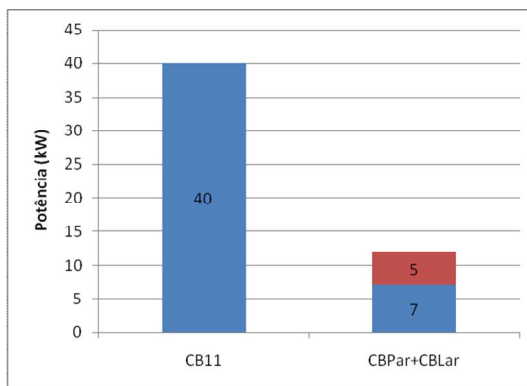


Figura 5.49: Potências instaladas na CB11 e nas novas CBs: CBPar e CBLar

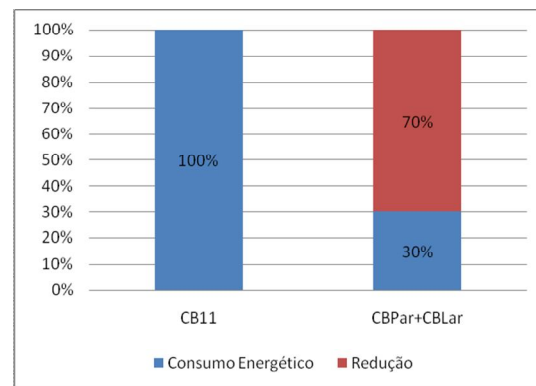


Figura 5.50: Redução das potências instaladas após as mudanças das CBs.

Após o dimensionamento das novas CBs, o seu funcionamento foi testado no EPANET, substituindo a CB-11, na cota 680 m, pela CB-Par e CB-Lar, na cota 694 m. O programa solicita, para cada CB, as informações de vazão e altura manométrica. O modelo aceitou as modificações e as pressões foram suficientes para chegar até os reservatórios, conforme mostrado na Figura 5.51. No entanto, foi necessário ajustar o RS-Parizotto para o novo volume projetado (500 m³). O funcionamento das novas bombas ao longo do tempo é demonstrado pelos gráficos da Figura 5.52 e Figura 5.53.

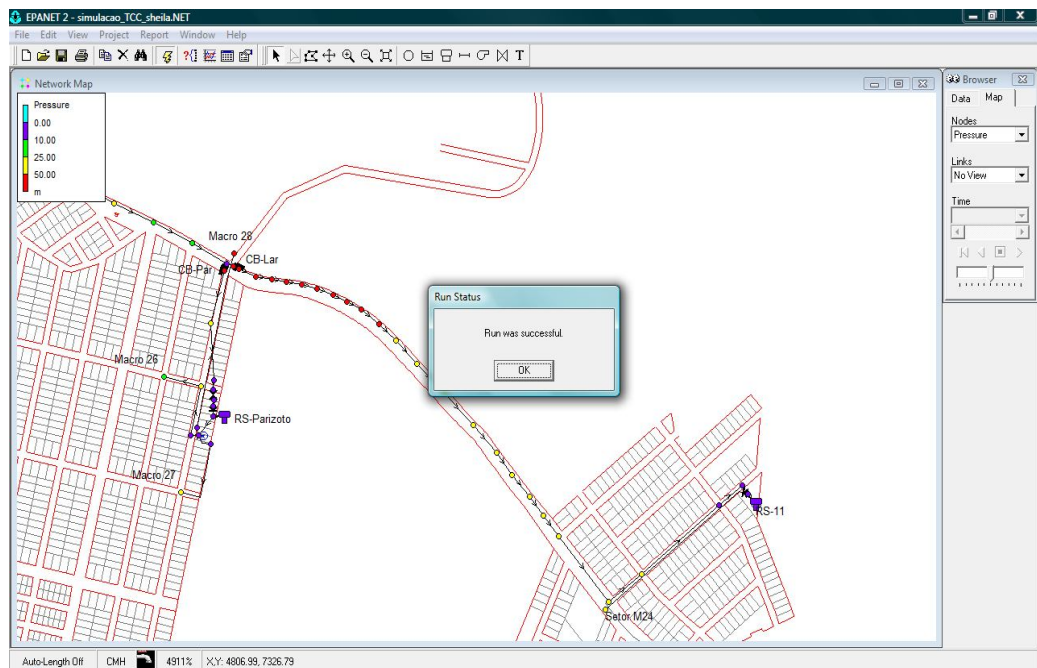


Figura 5.51: Substituição da CB11 pela CBPar e CBLar no EPANET.

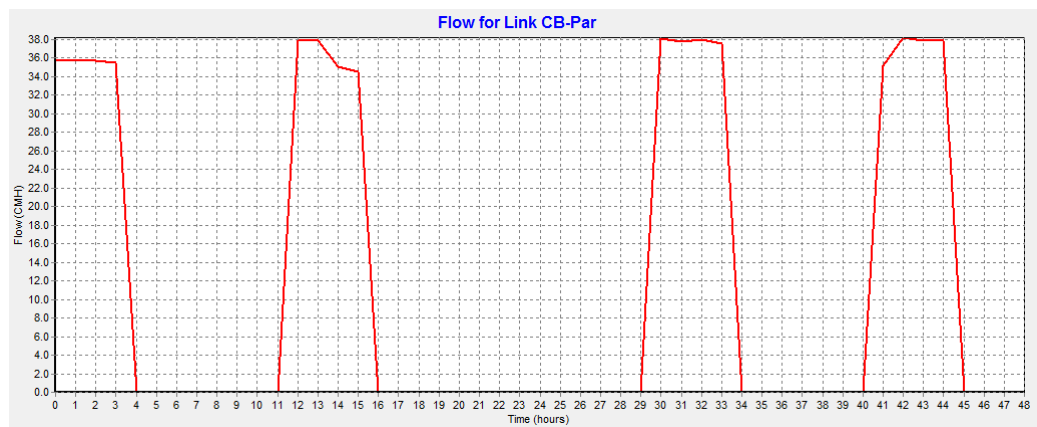


Figura 5.52: Simulação do funcionamento da nova CB-Par.

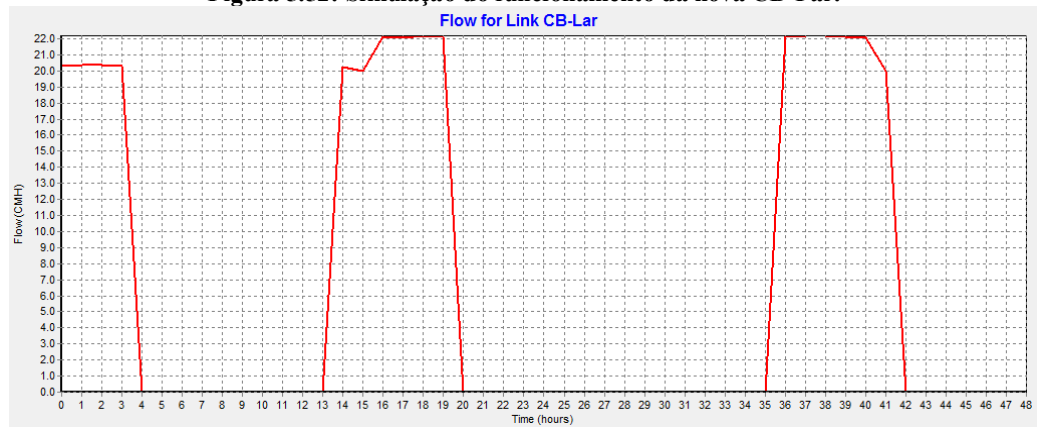


Figura 5.53: Simulação do funcionamento da nova CB-Lar.

Em seguida foi feita a verificação dos indicadores. Atualizando os valores de demanda, distâncias percorridas, tempo de funcionamento das CBs, vazões fornecidas, tem-se os novos indicadores mostrados na Tabela 5.19.

Tabela 5.19: Novos valores de indicadores de desempenho energético após as teste com modificações pretendidas.

Trecho	P _{mín} (kW)	P _{forn} (kW)	E1 (kWh/m³)	E1N (kWh/m³ /100m)	E2 (kWh/m³)	E2N (kWh/m³ /100m)	E3 (kWh/m³)	E3N (kWh/m³ /100m)
CB11-Rparizotto	8,194	7,00	-0,071	-0,123	-0,068	-0,117	0,854	1,472
CB11-RS11	2,443	5,00	0,451	0,655	0,624	0,906	2,046	2,971

É possível perceber que a potência fornecida para o trecho CB11-RParizotto não se mostra suficiente. Desta forma, foi adotada uma nova potência, de 10 kW para o trecho. Os novos resultados são mostrados na Tabela 5.20 e as novas potências são mostradas na Figura 5.54 e Figura 5.59. Um esquema da modificação é mostrado na Figura 5.56.

Tabela 5.20: Novos valores de indicadores de desempenho energético após teste com modificações pretendidas.

Trecho	P _{mín} (kW)	P _{forn} (kW)	E1 (kWh/m³)	E1N (kWh/m³ /100m)	E2 (kWh/m³)	E2N (kWh/m³ /100m)	E3 (kWh/m³)	E3N (kWh/m³ /100m)
CB11-Rparizotto	8,194	10,00	0,108	0,186	0,102	0,177	1,220	2,103
CB11-RS11	2,443	5,00	0,451	0,655	0,624	0,906	2,046	2,971

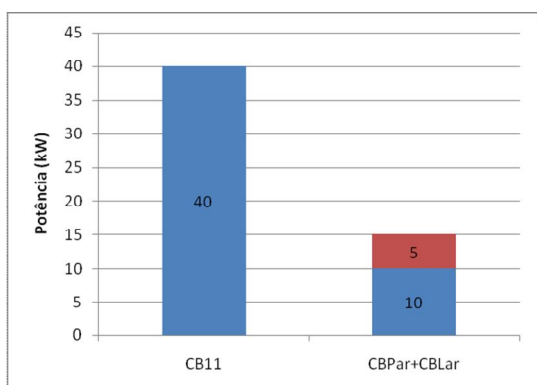


Figura 5.54: Novas potências instaladas na CB11 e nas novas CBs: CBPar e CBLar

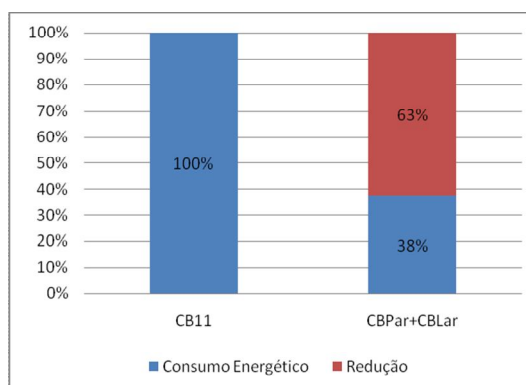


Figura 5.55: Redução das potências instaladas após as mudanças das CBs.

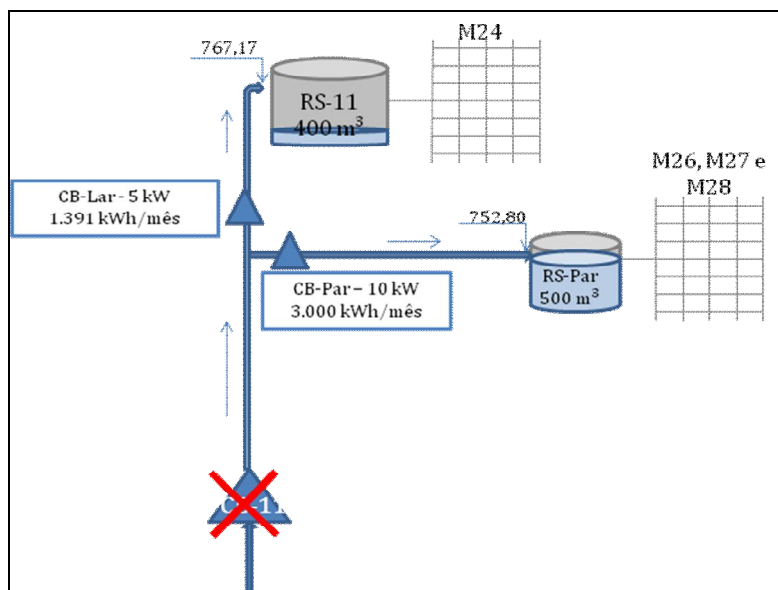


Figura 5.56: Substituição da CB-11 pela CB-Par e CB-Lar.

O potencial de redução energética para ambos os trechos são mostrados na Tabela 5.21, onde se percebe que há redução do potencial energético nestes setores, uma vez que a vazão e a potência fornecida diminuem com relação à situação anterior.

Para a situação 1 (antes das intervenções) foi considerada a tarifa convencional de alta tensão R\$0,16089/kWh (A4) e para a situação 2, a tarifa passa a ser a convencional de baixa tensão R\$0,26386/kWh (B3) (CELESC, 2009).

Tabela 5.21: Potencial de redução energética dos setores abastecidos pela CB-11.

Índice	Unidade	Cenários			
		CB11-Rpar (1)	CB11-Rpar (2)	CB11-RS11 (1)	CB11-RS11 (2)
E1N	[kWh/m³ água entrada/100m]	1,86	0,19	0,91	0,65
E2N	[kWh/m³ água faturada/100m]	1,76	0,18	0,94	0,91
E3N	[-]	4,64	2,1	2,48	2,97
Potencial teórico de redução energética (considerando vazões constantes)	[kWh/ano]	267.992	27.408	176.397	32.203
	[R\$/ano]	43.117,18	7.231,94	28.380,46	8.497,10
Redução da potencial	[%]	-	83%	-	70%

Esta tabela comprova teoricamente que as medidas sugeridas reduzem o consumo de energia, tornando-o mais eficiente. Outra observação importante com relação à metodologia é que se torna possível analisar o comportamento do sistema

antes de serem aplicadas as intervenções pretendidas, tanto pelo uso do modelo hidráulico, como pelo uso dos indicadores.

Os indicadores auxiliam na escolha da melhor opção para cada situação, pois permitem comparar cenários alternativos e avaliar o respectivo potencial de redução de energia.

Outra vantagem se refere ao fato de, no caso do modelo hidráulico não funcionar como o esperado, estes indicadores poderem auxiliar e comandar os estudos de eficiência energética nos Sistemas de Abastecimento de Água.

5.4. Avaliação econômica

A Tabela 5.22 apresenta a economia obtida mensal e anualmente no consumo energético, após substituição da CB-11 pelas novas CBs: CB-Par e CB-Lar. Neste caso foi analisada apenas a tarifa convencional, visto que a tarifa horosazonal não se aplica a instalações de baixa tensão. Os resultados podem ser melhor visualizados no gráfico da Figura 5.57 a Figura 5.59.

Tabela 5.22: Economia mensal e anual do consumo energético após instalação das novas CBs.

Situação	Demanda	Consumo mensal	Tarifa convencional		Desconto	Custo [R\$]	
	[kW]	[kWh/mês]	Consumo [R\$/kWh]	Demanda [R\$/kW]	%	Mensal	Anual
Atual (A4)	40	8.845	0,16089	23,82	15	2.019,49	24.233,89
Parizotto (B3)	10	3.000	0,26386	-	15	672,84	8.074,12
Lar Imoveis (B3)	5	1.391	0,26386	-	15	311,95	3.743,43
Subtotal CBPar+CBLar						984,80	11.817,54
Economia						1.034,70	12.416,35

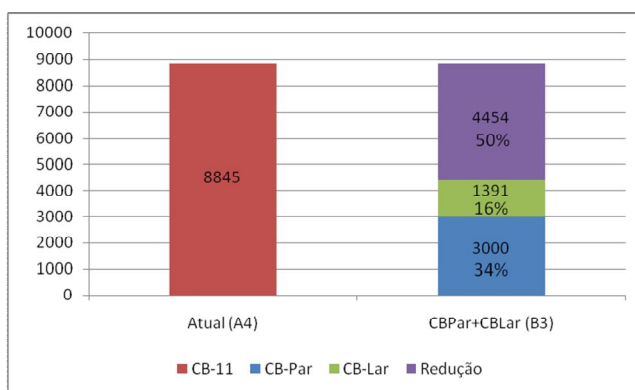


Figura 5.57: Redução do consumo mensal de energia elétrica pela substituição das CBs.

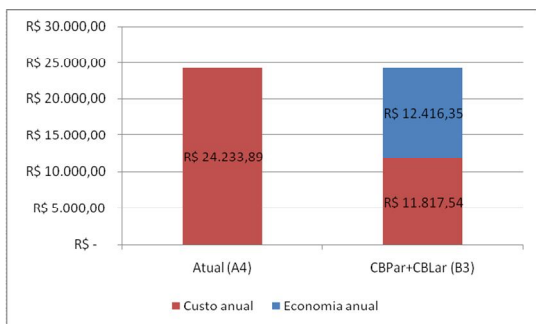


Figura 5.58: Economia anual com a instalação das novas CBs.

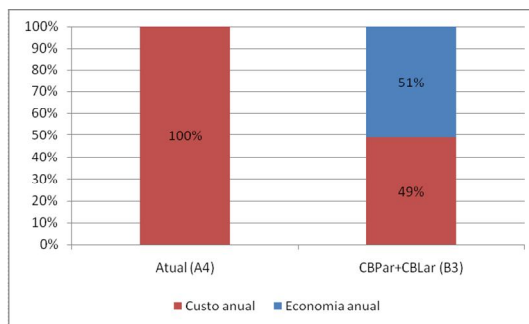


Figura 5.59: Percentual de redução nos gastos com energia.

O investimento inicial para a instalação das duas novas CBs foi estimado em R\$317.943,17. A taxa de juros (i) aplicada foi de 10% a.a. e o aumento da tarifa elétrica (e) foi considerado 9% a.a. (GOMES, 2005). O custo anual com manutenção foi estimado em R\$1.500,00, conforme dados do SIMAE. O fluxo de caixa da situação é apresentado na Figura 5.60. A Tabela 5.23 apresenta os resultados da avaliação econômica com o objetivo de se encontrar o Tempo de Retorno do Capital (TRC), representado na tabela por n (anos).

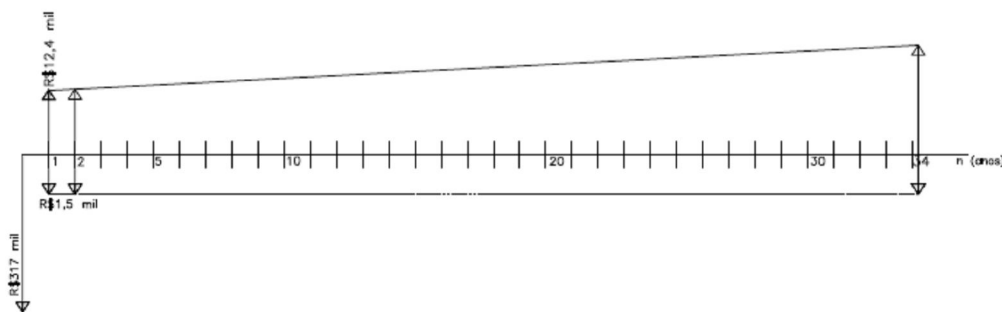


Figura 5.60: Fluxo de caixa dos custos e benefícios da implantação das novas CBs.

Tabela 5.23: Cálculo do Tempo de Retorno do Capital.

Investimento inicial (R\$)	Economia anual (R\$)	Custo anual (R\$)	i (%)	e (%)	n (anos)	FVP (i, e, n)	FVP (i, n)	VPL (R\$)	B/C
317.943,17	12.416,35	1.500,00	10	9	0	0,000	0,000	-317.943,17	0,00
317.943,17	12.416,35	1.500,00	10	9	1	0,909	0,909	-308.019,21	0,04
317.943,17	12.416,35	1.500,00	10	9	2	1,810	1,736	-298.073,90	0,07
317.943,17	12.416,35	1.500,00	10	9	5	4,464	3,791	-268.208,25	0,17
317.943,17	12.416,35	1.500,00	10	9	10	8,728	6,145	-218.791,57	0,33
317.943,17	12.416,35	1.500,00	10	9	20	16,694	8,514	-123.434,89	0,63
317.943,17	12.416,35	1.500,00	10	9	30	23,965	9,427	-34.527,50	0,90
317.943,17	12.416,35	1.500,00	10	9	34,1	26,768	9,613	0,00	1,00
317.943,17	12.416,35	1.500,00	10	9	40	30,601	9,779	47.342,40	1,14

O valor $n = 34,1$ anos foi alcançado através da função META do *software* Excel, fixando a variável VPL em zero, variando o valor de n . O gráfico da Figura 5.61 mostra a variação do Valor Presente Líquido (VPL) ao longo dos anos. O investimento é liquidado quando este valor atinge o valor zero, após determinado período.

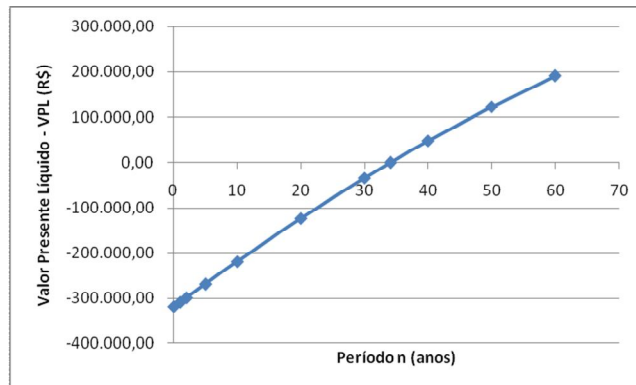


Figura 5.61: Variação do VPL (R\$) com o período de anos (n).

Como o período de projeto para as estações de bombeamento é de 10 anos, a metodologia mostrou que, neste caso, as intervenções não são viáveis economicamente. A economia anual com a efficientização do sistema não é capaz de pagar, dentro do período de projeto, os investimentos necessários para tal.

No entanto, deve-se pensar aqui, no conceito de “custo ambiental”. Se do ponto de vista econômico as medidas não se mostram atrativas, do ponto de vista ambiental, elas se mostram muito eficientes. Com o aumento da população e da demanda por energia, qualquer atividade que reduza e efficientize o consumo energético é válido. A sociedade, neste caso, se torna o “poluidor pagador”, pois se responsabilizará pelo custo de se reduzir a poluição.

A metodologia aplicada se mostrou interessante para o estudo da eficiência energética de Sistemas de Abastecimento de Água, encontrando os locais para melhor intervenção e auxiliando nas proposições a serem feitas para melhoria do sistema. A avaliação econômica irá variar em cada situação, mostrando se as modificações serão viáveis ou não. No entanto, o custo ambiental deverá ser priorizado, visto que medidas que minimizem o consumo de energia são cada vez mais necessárias.

6. CONCLUSÕES

O setor de saneamento é um grande consumidor de energia elétrica. Este consumo representa uma das maiores parcelas das despesas de exploração do setor, sendo os conjuntos motor-bomba os principais responsáveis por este alto consumo. As grandes perdas nos sistemas de abastecimento de água contribuem para o maior consumo de energia.

A efficientização do saneamento se mostra uma ótima alternativa para, além da redução dos gastos com energia, melhorar a qualidade dos serviços prestados e contribuir diretamente para o uso racional de energia. A gestão do saneamento deve promover a melhoria no desempenho dos serviços, principalmente quanto à eficiência energética.

O indicador consumo energético CE (kWh/m^3) revela uma maior eficiência para a CB-10 e CB-11. O consumo energético normalizado CEN ($\text{kWh/m}^3/100\text{m}$) se mostrou maior para a CB04.

O indicador E1 mostrou que existem conjuntos motor-bomba superdimensionados e reservatórios em cotas acima da necessária. O indicador E2 revela que há desperdício de energia para o recalque de água que é perdida. O indicador E3 revelou a relação entre a energia fornecida e a energia mínima necessária. Os indicadores E1, E2 e E3 revelam que os trechos menos eficientes do SAA de Capinzal/Ouro são os trechos a partir das elevatórias CB-11 e CB-06 até os reservatórios RS-Parizotto e RS-Dorini, respectivamente.

O indicador CEN analisa apenas a relação entre a potência fornecida pelo conjunto motor-bomba e o volume de água recalcado, não considerando se este volume é o necessário ou excessivo para atender a demanda. Os indicadores estudados neste trabalho analisam a situação como um todo, levando em consideração aspectos como vazão fornecida, perdas de água, demanda necessária, geografia do terreno, etc.

Os indicadores de desempenho (E1, E2 e E3) permitiram comparar os diferentes trechos do Sistema de Abastecimento de Água de Capinzal/Ouro, identificando aqueles com maior potencial teórico de redução de energia possibilitando, deste modo, o estabelecimento de prioridades de intervenção.

Como solução para a CB-11, seria a substituição da mesma por outras duas CBs com potências menores. A CB-Lar recalcaria água tratada apenas para o RS-11 com potência de 5kW, e a CB-Par recalcaria água tratada apenas para o reservatório RS-Parizotto, com potência de 10 kW, resultando em uma redução de 63% na potência fornecida e 50,4% no consumo mensal de energia.

A simulação foi aceita pelo modelo EPANET. O potencial de redução energética reduz uma vez que a vazão e a potência fornecida diminuem com relação à situação anterior.

Os indicadores comprovam teoricamente que as medidas sugeridas reduzem o consumo de energia, tornando-o mais eficiente. É possível analisar o comportamento do sistema antes de serem aplicadas as intervenções pretendidas, tanto pelo uso do modelo hidráulico, como pelo uso dos indicadores.

Os indicadores auxiliam na escolha da melhor opção para cada situação, pois permitem comparar cenários alternativos e avaliar o respectivo potencial de redução de energia.

No caso de o modelo hidráulico não funcionar como o esperado, estes indicadores podem auxiliar e comandar os estudos de eficiência energética nos Sistemas de Abastecimento de Água.

A substituição da CB-11 resultaria em uma economia anual de R\$12.416,35. Considerando investimento de R\$317.943,17 o tempo de retorno do capital foi de 34,1 anos. Este valor é maior que o período de projeto, 10 anos, o que demonstra a não atratividade econômica para esta medida de efficientização.

Se do ponto de vista econômico as medidas não se mostram atrativas, do ponto de vista ambiental, elas se mostram muito eficientes. Se do ponto de vista econômico as medidas não se mostram atrativas, do ponto de vista ambiental, elas se mostram muito eficientes. Deve ser considerado o custo ambiental da alternativa.

A metodologia aplicada se mostrou interessante para o estudo da eficiência energética de Sistemas de Abastecimento de Água, encontrando os locais para melhor intervenção e auxiliando nas proposições a serem feitas. A avaliação econômica irá variar em cada situação, mostrando se as modificações serão viáveis ou não. No entanto, o custo ambiental deverá ser priorizado, visto que medidas que minimizem o consumo de energia são cada vez mais necessárias.

7. RECOMENDAÇÕES

- ✓ A elaboração de um *software* que auxilie na construção dos indicadores, relacionando distâncias, cotas e vazões e que automatizasse a cálculo das potências, agilizaria o processo que se apresentou o mais demorado do trabalho.
- ✓ O remanejamento do sistema nos pontos em que as CBs recalcam água para cotas acima das necessárias reduziria a potência requerida e melhoraria a eficiência do sistema.
- ✓ O bombeamento fora do horário de ponta, estudado por Eleotero (2008), se mostra uma alternativa mais viável para o sistema em questão e deve ser posto em prática.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEGRE, H. *et al.* **Performance indicators for water supply service.** IWA Publishing, 2000.

CELESC. **Tarifas Vigentes para a Celesc Distribuição.** Disponível em www.celesc.com.br. Acesso em 17/06/2009

CHEUNG P. *et al.* **Curso de Eficiência Energética no Saneamento.** Guia do profissional em treinamento. Apostila a ser publicada pela RECESA, 2008.

DUARTE *et al.* **Avaliação do desempenho energético em sistemas de abastecimento.** In: VIII SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO, 2008.

DUARTE *et al.* **Application of a technical performance assessment tool to support water distribution systems rehabilitation.** In: 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, Cincinnati, Ohio, EUA, 2006.

ELEOTERO, B. C. **Redução de custos com energia elétrica em sistemas de bombeamento:** estudo de caso sistema de abastecimento de água de Capinzal/Ouro - (SC). Florianópolis, 2008. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina.

ELETROBRÁS. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

GIROL, G. V.. **Análise de perdas reais em um setor no sistema de abastecimento de água do município de Capinzal - SC.** 2008. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina.

GOMES, H. P. **Eficiência hidráulica e energética em saneamento:** Análise Econômica de Projetos. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

IBGE. **IBGE Cidades.** Disponível em www.ibge.gov.br/cidadesat. Acesso em 15/06/2009.

HOSSA, C. L.. **Uso de indicadores de desempenho para avaliar a eficiência energética em sistemas de abastecimento de água.** 2008. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenheiro) - UFSC, Florianópolis, 2008.

JAMES, K. *et al.* **Água e energia: aproveitando as oportunidades de efficientização de água e energia não exploradas nos sistemas municipais.** Alliance to Save Energy, 2002.

MATOS, R. S. **Indicadores de desempenho de serviços de águas e águas residuais.** Seminário sobre a aplicação em Portugal e na União Européia das directivas incidentes no ciclo urbano da água. Covilhã, Universidade da Beira Interior, 2005.

MIRANDA, E.C.. **Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água - Indicadores de Perdas e Metodologias para Análise de Confiabilidade.** UnB: Dissertação de Mestrado. Brasília, 200 f. 2002.

MOREIRA T., **Saneamento Básico: Desafio e Oportunidades,** 2007.

OLIVEIRA, A. L. S.; FERNANDEZ, J. C.. **Análise da eficiência do setor de saneamento básico no Brasil.** In: IX encontro regional de economia da ANPEC, 2004.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2006.** Brasília, DF, 2007.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2007.** Brasília, DF, 2009.

TSUTIYA, M. T.. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água.** ABES. São Paulo, 2005.